Document de fond d'Agriculture et Agroalimentaire sur le changement climatique

Table de concertation d'Agriculture et Agroalimentaire Canada sur le changement climatique
Printemps 1999

100-05097/

PRÉFACE

Le présent document avait pour but de fournir à la table de concertation d'Agriculture et Agroalimentaire Canada sur le changement climatique des données fondamentales sur les questions liées au changement climatique et sur l'agriculture. Il reflète donc les connaissances et la documentation dont nous disposions au moment de sa rédaction.

Les auteurs se sont inspirés de travaux déjà achevés, et notamment de la version préliminaire, puis de la version finale, du document sur la salubrité de l'air publié par la Direction générale de la recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. On n'insistera pas assez sur la contribution du document sur la salubrité de l'air dans la rédaction de notre document de fond. Sans les travaux effectués par l'équipe responsable du document sur la salubrité de l'air, il aurait été extrêmement difficile de rédiger un document de fond dans les délais impartis.

Les sources d'information sont diverses : références originales, références citées dans d'autres documents, communications personnelles et opinions. Nous avons inclus les références dans le rapport dans la mesure où il était possible de les vérifier. Lorsque la référence de la source originale ne figure pas, c'est qu'il a été impossible de la vérifier. Dans certains cas, l'information citée peut avoir été fondée sur l'opinion bien informée d'un auteur plutôt que sur les résultats de travaux de recherche.

À mesure que la table de concertation agricole sur le changement climatique se penchera sur un certain nombre des questions ayant trait aux gaz à effet de serre, la nécessité de réviser certaines d'entre elles dans ce document de fond se posera inévitablement. Certaines questions ont été entièrement escamotées dans cette version initiale et d'autres devront être revues lorsque la table de concertation aura eu la possibilité de les étudier plus en profondeur. Enfin, il faut indiquer que le présent document de fond est un recueil des questions qui ont été soulignées au début des délibérations de la table de concertation.

Ce document de fond est donc un travail en cours d'élaboration. Il représente le début du processus et non la fin. Pour étudier le document de fond dans son contexte, il est nécessaire d'étudier également d'autres documents rédigés à l'intention de la table de concertation. Il faudra notamment étudier le document sur les options que la table de concertation agricole produira; en effet ce document reflétera les conclusions auxquelles la table de concertation sera arrivée aux termes de ses délibérations.

Sommaire

Les activités agricoles qui contribuent directement aux émissions de gaz à effet de serre sont les suivantes : fermentation entérique chez les animaux d'élevage; gestion du fumier, travail du sol et combustion des résidus agricoles. L'irrigation et les façons culturales peuvent également produire des gaz à effet de serre d'origine anthropique (résultant d'activités humaines).

En 1996, les activités agricoles ont entraîné la libération de 61 Mt (millions de tonnes) de CO_2, soit environ 9,5 p. 100 des émissions totales de gaz à effet de serre au Canada. Le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O) étaient les principaux gaz à effet de serre produits par les activités agricoles, représentant respectivement 38 et 61 p. 100 du total. Les émissions de méthane provenant de la fermentation entérique et de la gestion du fumier représentent environ 38 p. 100 du total des émissions de CH_4 d'origine anthropique. De tous les animaux domestiques, les bovins de boucherie et les bovins laitiers sont les principaux producteurs de méthane. Les activités de gestion des sols comme l'épandage d'engrais et d'autres pratiques culturales constituent les principales sources d'émissions d'oxyde nitreux, représentant environ 48 p. 100 des émissions totales canadiennes de N_2O.

Le potentiel de réchauffement (forçage radiatif) d'un gaz dépend de sa capacité d'absorption et de réémission du rayonnement et de la durée de l'effet. Les potentiel de réchauffement du CH_4 et du N_2O sont respectivement 21 et 310 fois plus élevés que celui du CO_2 Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, 1996). Le CH_4 a une durée de vie d'environ 12 ans, le N_2O de 130 ans et le CO_2 de 200 ans.

Le total des émissions de CO_2 provenant des activités agricoles canadiennes correspond à la somme des pertes nettes de carbone du sol et des émissions provenant des utilisations directes et indirectes des combustibles fossiles. Ces estimations indiquent que, en 1996, les activités agricoles ont entraîné la libération dans l'atmosphère d'environ 28 Mt de CO_2 (8 Mt de C). Selon les projections effectuées pour l'an 2010, les émissions totales ne changeront pas sensiblement par rapport à celles de 1996. Les émissions provenant des sols devraient diminuer et devenir négatives mais, en même temps, les émissions de sources indirectes pourraient augmenter et annuler les progrès réalisés. Ces estimations présument du maintien des pratiques actuelles.

Le CH_4 n'est présent dans l'atmosphère qu'en très faibles concentrations, et cette concentration qui augmentait à un rythme annuel de 1,1 p. 100 augmente maintenant à un rythme d'environ 0,6 p. 100 par année. À l'échelle planétaire l'agriculture constitue une source très importante de CH_4, étant responsable des deux tiers environ des émissions anthropiques de ce gaz. La majeure partie du méthane produit par l'agriculture vient de la décomposition de la matière végétale par les microorganismes. Les émissions de CH_4 provenant des fermes canadiennes sont presque entièrement dues au bétail. Selon les estimations actuelles, les exploitations agricoles canadiennes ont produit en 1996 environ 1 Mt de CH_4. Le bétail a produit directement environ 80 p. 100 du total, le reste venant du fumier. Si le nombre d'animaux de ferme augmente comme prévu, il est possible qu'on observe des hausses des émissions de CH_4, à moins que de nouvelles méthodes ne soient adoptées pour réduire les émissions de chaque animal.

L'oxyde nitreux (N_2O) n'existe à l'état naturel dans l'atmosphère qu'en très faibles concentrations (300 parties par milliard en volume), mais cette concentration augmente actuellement au rythme d'environ 0,3 p. 100 par année. Cette augmentation provient pour une bonne part de l'agriculture, qui est

responsable d'une proportion des émissions anthropiques de N_2O pouvant atteindre jusqu'à 70 p. 100. Le N_2O présente deux dangers : c'est un gaz à effet de serre extrêmement efficace qui persiste très longtemps dans l'atmosphère (environ 130 ans) et le N_2O rejeté dans l'atmosphère fini par se convertir en oxyde nitrique (NO), un gaz destructeur de la couche d'ozone (O_3). Ainsi, des concentrations plus élevées de N_2O contribueront non seulement à l'effet de serre, mais pourraient aussi augmenter indirectement l'intensité du rayonnement UV. La plus grande partie du N_2O d'origine agricole est produite dans le sol.

L'estimation des émissions d'oxyde nitreux pour l'ensemble des fermes canadiennes n'est qu'approximative, compte tenu de nos connaissances limitées de la formation et de la libération du N_2O. Les données actuelles se fondent sur des équations élaborées par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, 1996) qui calculent les émissions de N_2O provenant de trois sources : émissions directes à partir du sol; émissions directes dues à la production du bétail; émissions indirectes provenant des exploitations agricoles. Selon ces calculs, les émissions directes de N_2O provenant des sols agricoles du Canada en 1996 auraient atteint 0,057 Mt. La moyenne calculée pour la superficie totale des terres cultivées du Canada donnerait environ 1 kg d'azote de N_2O par hectare par année. Les taux d'émissions estimés varient toutefois largement d'une région à l'autre.

On a calculé les émissions directes dues au bétail en estimant la quantité d'azote contenue dans le fumier et en présumant qu'une portion précise de cet azote est libérée sous forme de N_2O. En vertu de ce calcul, les émissions directes de N_2O dues au bétail ont été estimées à 0,024 Mt en 1996. Les émissions indirectes ont été calculées à partir d'estimations de l'azote atmosphérique (p. ex., NH_3) déposé sur le sol, de l'azote lessivé à partir des champs cultivés et de la production d'eaux usées. Selon ces calculs, l'azote lessivé est le plus important puisqu'il représente plus de 80 p. 100 des quelque 0,038 Mt de N_2O libérées des sources indirectes en 1996. Les émissions totales de N_2O provenant des activités agricoles au Canada, en 1996, ont été estimées selon l'approche du GIEC à environ 0,120 Mt. Les émissions directes à partir du sol représentaient environ la moitié de ce total. Selon les estimations actuelles, les émissions de N_2O ont augmenté régulièrement depuis 1981, et ont augmenté de 21 p. 100 entre 1991 et 1996. Cette hausse a été attribuée en grande partie à une augmentation de l'azote ajouté aux terres sous forme d'engrais et de fumier. Compte tenu des augmentations prévues du nombre des animaux d'élevage et des rendements supérieurs des récoltes attendus pour l'avenir, les émissions de N_2O pourraient augmenter encore, à moins d'une amélioration de la gestion de l'azote.

Le cycle du carbone est l'élément central des systèmes culturaux. La réduction des émissions de CO2 dépend principalement de l'efficacité de la gestion de ce cycle : recyclage de la plus grande quantité possible de carbone organique; travail minimal du sol; optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire; dépendance moindre vis-à-vis de l'énergie provenant de l'extérieur. Comme elles favorisent l'efficacité, beaucoup de ces méthodes contribuent également à la pérennité des ressources terrestres et pourraient même s'avérer rentables. En conséquence, des pratiques comme le travail de conservation du sol et la culture sans travail du sol sont adoptées pour des raisons qui ont peu à voir avec les avantages qu'elles présentent pour la qualité de l'atmosphère. Par exemple, la plupart des agriculteurs canadiens travaillent moins leurs terres que ceux de la génération précédente, et ils sont de plus en plus nombreux à pratiquer la culture sans travail du sol. De même, les superficies de terres cultivables en jachère sont passées d'environ 11 millions d'hectares en 1971 à environ 6 millions d'hectares en 1996. Le recours à ces méthodes et à d'autres méthodes de conservation du carbone augmentera vraisemblablement au cours des prochaines décennies.

Les méthodes qui réduisent la production de CH_4 par les exploitations agricoles portent sur les pratiques d'alimentation. Certaines pratiques d'alimentation réduisent les quantités de CH_4 émises par les animaux. Beaucoup de ces pratiques sont déjà faisables et économiques. Utilisées en association, elles peuvent réduire les pertes d'énergie dues à la libération de CH_4 de la proportion normale de 5 à 8 p. 100 de l'énergie brute des aliments à seulement 2 ou 3 p. 100. Comme l'efficacité de l'alimentation est augmentée, ces pratiques présentent souvent des avantages économiques.

Le CH_4 provenant du fumier est surtout produit pendant l'entreposage. Lorsque le fumier est entreposé sous forme liquide ou en tas mal ventilés, l'absence d'oxygène empêche la décomposition complète en CO2 (une voie préférable, car le potentiel de réchauffement du CO_2 est plus faible) et il y a production de CH_4. La plupart des méthodes de réduction des émissions visent par conséquent à ralentir le taux de décomposition, à améliorer l'aération ou à raccourcir la durée d'entreposage. Ces méthodes peuvent réduire, dans une certaine mesure, les émissions de CH_4 provenant du fumier. Compte tenu de la densité élevée des animaux d'élevage dans certaines régions et du coût élevé de la manutention et du transport, la gestion du fumier pose toujours un défi, et il faudra peut-être imaginer d'autres solutions pour réduire les émissions.

Les émissions de N_2O surviennent lorsque des quantités excédentaires de NO_3^- subissent une dénitrification, dans les terres agricoles elles-mêmes ou après leur lessivage. On peut réduire ces émissions en évitant l'accumulation de NO_3^- ou les conditions du sol qui favorisent la dénitrification. Une certaine quantité de N_2O est également produite pendant la conversion du NH_4+ en NO_3^- (nitrification). Dans l'ensemble, le meilleur moyen de réduire les émissions de N_2O consiste à gérer le cycle de l'azote plus efficacement et à éviter ainsi l'accumulation de quantités excessives de NH_4+ ou de NO_3^-. Les engrais représentent environ 9 p. 100 des coûts de production agricole, et toute méthode permettant de réduire les pertes d'azote présente des avantages économiques.

Les incidences possibles du changement climatique sur l'agriculture se traduiront plus directement par la réaction des cultures, des animaux d'élevage, des sols, des mauvaises herbes, des insectes et des maladies aux éléments du climat auxquels ils sont les plus sensibles. L'une des nombreuses études qui ont porté sur les effets possibles du changement climatique sur l'agriculture canadienne est l'Étude pan-canadienne qui a examiné les incidences du changement climatique sur diverses régions canadiennes en présumant qu'au cours du prochain siècle, on assistera à une nouvelle hausse de 1 à 3,5 °C.

Toutefois, jusqu'à maintenant, peu d'études ont entièrement pris en compte les changements futurs de la variabilité climatique, de la disponibilité de l'eau et des nombreuses façons dont les agriculteurs pourraient réagir au changement climatique. Ces facteurs risquent d'avoir une importance égale à celle des effets directs du changement climatique lui-même. Si des stratégies d'adaptation appropriées sont élaborées et mises en oeuvre en temps utile, la vulnérabilité globale d'une région pourrait en être réduite. Toutefois, des incertitudes persistent quant à la faisabilité et à l'efficacité des adaptations technologiques.

Table des matières

Sommaire ii

1. Profil des émissions de gaz à effet de serre du secteur 1
    1.1 Secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire 1
        1.1.1 Contribution du système agroalimentaire à la croissance économique 1
        1.1.2 Économies provinciales des secteurs de l'agriculture et des aliments et boissons 1
        1.1.3 Emploi dans le système agroalimentaire en 1997 1
        1.1.4 Valeur du commerce 2
        1.1.5 Commerce par degré de transformation en 1997 2
        1.1.6 Balance commerciale, selon le degré de transformation 2
        1.1.7 Structure du secteur agricole, taille des exploitations et nombre d'exploitations 2
        1.1.8 Structure du secteur agricole, superficies cultivées et taill des troupeaux 2
        1.1.9 Structure du secteur agricole, groupes de producteurs 3
        1.1.10 Structure du secteur agricole, situation financière des exploitations 3
        1.1.11 Performance du secteur agricole, revenus des exploitations 3
    1.2 Les gaz à effet de serre et l'agriculture - Introduction 3
    1.3 Risques de réchauffement planétaire 5
    1.4 Dioxyde de carbone 6
        1.4.1 Le cycle planétaire du carbone 6
        1.4.2 Cycles du carbone dans les écosystèmes agricoles 7
        1.4.3 Effets de la gestion sur le cycle du carbone 7
        1.4.4 Mesure des effets de la gestion sur le cycle du carbone 8
        1.4.5 Estimations des émissions de CO_2 au Canada 8
        1.4.6 Estimation de l'évolution de la concentration du carbone dans le sol 9
        1.4.7 Émissions dues à l'utilisation des combustibles fossiles 10
        1.4.8 Résumé des émissions de CO_2 10
    1.5 Méthane 11
        1.5.1 Émissions de méthane par le bétail 11
            1.5.1.1 Mesure des émissions de méthane 11
            1.5.1.2 Facteurs influant sur les émissions de méthane 12
            1.5.1.3 Estimations des émissions de CH_4 provenant du bétail 12
        1.5.2 Émissions de méthane provenant du fumier 13
        1.5.3 Émissions de méthane et absorption par les sols 14
        1.5.4 Autres sources de méthane 14

1.5.5 Estimations des émissions nettes de toutes sources 14
1.6 Oxyde nitreux 15
1.6.1 Cycle de l'azote 15
1.6.2 Formation de l'oxyde nitreux 16
1.6.2.1 Nitrification 16
1.6.2.2 Dénitrification 16
1.6.3 Pratiques de gestion influant sur les émissions de N_2O 17
1.6.4 Variabilité des émissions de N_2O 19
1.6.5 Estimations des émissions de N_2O à l'échelle nationale 20
1.7 Résumé de la part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre 21

2. Facteurs influant sur la croissance des émissions et les possibilités de réduction 22
2.1 Croissance du secteur de l'agriculture et de l'élevage 22
2.1.1 Données d'AAC sur les tendances des prix des produits agricoles à moyen terme .. 22
2.1.2 Tendances à moyen terme des prix de la viande 23
2.1.2.1 Marché international des viandes rouges 23
2.1.2.2 Marché canadien des viandes rouges 24
2.2 Utilisation d'engrais 24
2.3 Reconnaissance du rôle de puits de carbone joué par les sols, d'ici à l'an 2000 25
2.3.1 Prise en compte des puits dans le Protocole de Kyoto 25
2.3.2 Utilisation des sols canadiens en guise de puits de carbone 25
2.4 Secteur de la transformation des aliments et des boissons 27
2.4.1 Problèmes environnementaux liés à la transformation des aliments et des boissons 27
2.4.2 Utilisation de l'énergie. 27
2.4.3 Utilisation de l'eau et rejets d'effluents 28
2.4.4 Émissions dans l'atmosphère 28
2.4.5 Technologies émergentes 28
2.5 Lacunes dans les connaissances et domaines de recherches et d'analyses futures 29

3. Examen de l'expérience acquise et des moyens utilisés actuellement pour lutter contre les gaz à effet de serre 29
3.1 Réduction des émissions de CO_2 29
3.1.1 Moyens d'accroître la teneur en carbone du sol 30
3.1.2 Entreposage du carbone dans les matières végétales 32
3.1.3 État actuel des méthodes de réduction des émissions de CO_2 34
3.2 Réduction des émissions de méthane 34
3.2.1 Réduction des émissions de CH_4 provenant des animaux 35
3.2.2 Réduction des émissions de CH_4 du fumier 35
3.3 Techniques de réduction des oxydes nitreux 36

4. Recherches en cours sur les moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture ... 38
4.1 Réduction des émissions de CO_2 38
4.1.1 Quantification, prévision et vérification des modifications de la teneur en carbone du sol 38
4.2 Réduction des émissions de méthane 39

4.2.1 Effets de la production de bovins en parcours sur les gaz à effets de serre - Mise au point 39
4.2.2 Mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre du fumier 40
4.2.3 Possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant des animaux domestiques monogastriques 40
4.2.4 Possibilités de réduction des émissions de méthane provenant des ruminants 41
4.2.5 Les systèmes de gestion du fumier du bétail et la production de gaz à effet de serre 42
4.3 Mesures de réduction de l'oxyde nitreux 43
4.3.1 Mise au point de méthodes de prévision des émissions de N_2O dans les systèmes de production culturale 43
4.3.2 Émissions d'oxyde nitreux provenant des agroécosystèmes canadiens : élucidation du processus 44
4.4 Autres recherches 44
4.4.1 Vérification des modèles de flux des gaz à effet de serre à diverses échelles 44
4.5 Détermination des lacunes dans les connaissances et des domaines qui nécessitent de plus amples recherches ou études 45

5. Mesures possibles de réduction des émissions 46
5.1 Projets d'adaptation, de réduction et de recherche pour limiter les dangers des gaz à effet de serre 46
5.1.1 Gaz à effet de serre produits par l'agriculture et engagements pris par le Canada à Kyoto 46
5.1.2 Comptabilisation des gaz à effet de serre du GIEC par rapport à l'agriculture 46
5.1.3 Les mécanismes de développement propre et l'agriculture 46
5.1.4 L'utilisation des terres face au changement climatique 47
5.1.5 Incidences possibles du changement climatique sur l'agriculture canadienne 48
5.1.5.1 Températures plus chaudes 48
5.1.5.2 Ravageurs et maladies 48
5.1.5.3 Effets d'une teneur en CO_2 plus élevée sur les rendements des récoltes 48
5.1.5.4 Variabilité du climat 49
5.1.6 Adaptation de l'agriculture canadienne au changement climatique 49
5.1.7 Quelle sera l'influence de la politique sur les gaz à effet de serre sur la compétitivité de l'agriculture canadienne? 50
5.1.8 Aspects complémentaires et contradictoires des politiques relatives aux gaz à effet de serre et à l'agriculture 51
5.2 Aspects économiques de diverses pratiques qui pourraient améliorer l'évaluation du potentiel de réduction des émissions 52
5.2.1 Aspects économiques des techniques de travail réduit du sol et de réduction des jachères sur la production végétale au Canada - Revue des données disponibles 52
5.2.2 Facteurs économiques liés aux systèmes modifiés de manutention du fumier ayant pour but de réduire les gaz 53
5.2.3 Faisabilité économique de la modification des aliments des ruminants et de la gestion du rumen en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre 53
5.2.4 Les aspects économiques des biocarburants 54
5.3 Avantages connexes de la réduction des émissions de gaz à effet de serre 54

5.4 Activités particulières du gouvernement et de l'industrie requises ou en cause, possibilités d'atténuation des incidences négatives éventuelles déterminées pour les secteurs et de mise à profit des avantages possibles 55
5.4.1 Instruments liés au marché pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture 55
5.4.2 Mesures d'incitation pour une intervention rapide et un échéancier optimal des politiques relatives aux gaz à effet de serre en agriculture 56
5.4.3 Instruments de politique hors-marché pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture 56
5.5 Détermination des lacunes dans les connaissances actuelles qui doivent être comblées afin de poursuivre l'évaluation des possibilités de ces mesures 57

6. Prochaines étapes 57

Bibliographie 58

Annexe 1 61

Annexe 2 68

Annexe 3 75

1. Profil des émissions de gaz à effet de serre du secteur

1.1 Secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire

Selon les données d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), le système agroalimentaire canadien produit plus de 80 p. 100 des aliments et des boissons consommés par les 30,3 millions de Canadiens. Les dépenses consacrées aux aliments ne représentent que 13,6 p. 100 du revenu disponible des consommateurs, un des taux les plus bas du monde. En 1997, l'agriculture, un des secteurs de ressources les plus importants, a procuré des recettes de 28,2 milliards de dollars aux agriculteurs canadiens qui ont à leur tour payé 14,4 milliards de dollars aux fournisseurs de facteurs de production (énergie, semences et aliments). En 1997, la valeur de nos exportations agricoles, établie à 12,5 milliards de dollars, était deux fois plus élevée que celle des importations agricoles. Elles ont ainsi eu un effet positif sur la balance commerciale canadienne (AAC, 1998a).

Les industries de la produit intérieur brut (PIB) des aliments et des boissons représentaient ensemble le deuxième secteur manufacturier pour le PIB, avec des expéditions d'une valeur de 52,3 milliards de dollars. La valeur des produits agroalimentaires transformés destinés à l'exportation était de 9,8 milliards de dollars. Les produits agroalimentaires transformés importés, certains étant destinés à subir une transformation ultérieure au Canada, étaient évalués à 9,6 milliards de dollars en 1997 (AAC, 1998a).

1.1.1 Contribution du système agroalimentaire à la croissance économique

En règle générale, le taux de croissance économique de l'ensemble du système agroalimentaire tend à tirer de l'arrière comparativement à l'économie dans son ensemble. Toutefois, au cours des années 90, il l'a surpassé (1,7 p. 100 contre 1,5 p. 100). Suite aux baisses observées tout au long des années 80, la part du système agroalimentaire dans le PIB canadien total a atteint 8,6 p. 100 en 1997. Elle s'est maintenue à ce niveau pendant la plus grande partie des années 90 (AAC, 1998a).

La part combinée des secteurs de l'agriculture et des aliments et des boissons dans le PIB total du Canada, à l'exclusion des composantes « distribution » et « services alimentaires », est passée d'un niveau moyen de 5,6 p. 100 au cours des années 70 à 4,6 p. 100 au cours des années 80. En 1997, elle s'établissait à 4,3 p. 100. La part combinée des secteurs de la distribution et des services alimentaires dans le PIB total a oscillé pour sa part entre 4,5 et 4,0 p. 100 depuis le début des années 80, et s'établissait à 4,2 p. 100 en 1997 (AAC, 1998a).

1.1.2 Économies provinciales des secteurs de l'agriculture et des aliments et boissons

En valeurs absolues, pour l'ensemble des secteurs en question, l'Ontario et le Québec ont fourni la plus grande part du PIB puisque le gros des entreprises de transformation des aliments et des boissons sont installées dans ces provinces. Vue sous l'angle des provinces, en valeurs relatives, la part du PIB provenant de l'agriculture, des aliments et des boissons est la plus importante pour les économies de la Saskatchewan et de l'Île-du-Prince-Édouard.

1.1.3 Emploi dans le système agroalimentaire en 1997

Le système agroalimentaire a fourni du travail à 1,8 million de personnes en 1997, soit 13,3 p. 100 des emplois à l'échelle nationale. L'emploi dans le secteur de l'agriculture a subi une baisse au cours des quelques dernières décennies, mais les données récentes laissent constater un ralentissement de ce déclin. La productivité s'améliore à mesure que ces industries rationalisent leurs opérations pour accroître leur compétitivité. L'emploi dans le secteur des aliments et des boissons varie selon le cycle économique; il a récemment connu une hausse. La croissance de l'emploi se poursuit par ailleurs dans les secteurs de la distribution et des services alimentaires. Cette évolution reflète la tendance à long terme de l'économie en faveur d'une croissance de l'emploi dans le secteur de l'industrie tertiaire et des services (AAC, 1998a).

1.1.4 Valeur du commerce

Le commerce mondial des secteurs de l'agriculture, des aliments et des boissons a connu une croissance régulière au cours des années 1990. Les États-Unis demeurent notre principal partenaire commercial, achetant 50 p. 100 des exportations agroalimentaires canadiennes totales et fournissant 59 p. 100 des importations agroalimentaires canadiennes. Depuis 1990, le Canada est devenu un exportateur net de produits agroalimentaires aux États-Unis. Le commerce avec le reste du monde évolue différemment. Même si les exportations continuent d'augmenter, la croissance relative des importations a été plus rapide, produisant une légère baisse de la balance commerciale nette en 1997 (AAC, 1998a).

1.1.5 Commerce par degré de transformation en 1997

Les produits agroalimentaires en vrac et ceux ayant subi une transformation intermédiaire représentent toujours une part plus importante de nos exportations, en valeur, que les produits de consommation. Les exportations totales ont atteint 22,3 milliards de dollars en 1997. Le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire s'est récemment fixé un objectif de 4 p. 100 des exportations mondiales de produits agroalimentaires d'ici à l'an 2005. Pour l'atteindre, il devra maintenir la croissance de ses exportations de produits à valeur ajoutée. L'intérêt plus grand porté aux produits à valeur ajoutée pourrait entraîner une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (AAC, 1998a).

1.1.6 Balance commerciale, selon le degré de transformation

Le Canada jouit d'une balance commerciale nette positive en ce qui a trait aux produits en vrac et aux produits intermédiaires. Les produits en vrac dominent toujours dans les statistiques commerciales; ils restent relativement stables avec une valeur oscillant entre 3 et 5 milliards de dollars annuellement. Les produits intermédiaires ont connu une croissance régulière en termes de balance commerciale nette, passant de 1,3 milliard de dollars en 1990 à environ 3,2 milliards de dollars en 1997. Les produits de consommation affichent une balance commerciale négative variant entre 2 et 3 milliards de dollars depuis 1990 (AAC, 1998a).

1.1.7 Structure du secteur agricole, taille des exploitations et nombre d'exploitations

Les exploitations les plus grandes s'accaparent une portion croissante des recettes brutes de l'agriculture. Le nombre d'exploitations a baissé avec le temps, reflétant l'augmentation de la productivité. Toutefois, selon le recensement de l'agriculture de 1996, la baisse observée dans le nombre d'exploitations en activité a été la plus faible depuis 1941. Le nombre de grandes exploitations (plus de 100 000 dollars de ventes brutes) a augmenté de 11 p. 100 entre 1991 et 1996, alors que le nombre des plus petites baissait de 6 p. 100. En conséquence, les grandes exploitations représentent aujourd'hui 30 p. 100 du total, comparativement à 27 p. 100 en 1991. Les exploitations plus grandes et plus modernes présentent de meilleures possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour un niveau de production donné (AAC, 1998a).

1.1.8 Structure du secteur agricole, superficies cultivées et taille des troupeaux

Le total des superficies cultivées est resté plus ou moins constant depuis 1971. La superficie moyenne des terres appartenant à chaque exploitation a augmenté de 2 p. 100 de 1991 à 1996 pour atteindre 611 acres. En 1971, les terres cultivées représentaient 41 p. 100 de la superficie totale des terres agricoles. En 1996, cette proportion était passée à 51 p. 100. La proportion des terres en jachère est passée de 16 p. 100 en 1971 à 9 p. 100 en 1991. Ce changement est un reflet de l'amélioration des méthodes de gestion des terres et des cultures. Le recensement de 1996 a confirmé le renforcement des industries des viandes rouges. Les nombres de porcs et de vaches d'élevage de boucherie ont atteint des sommets inégalés depuis 25 ans (AAC, 1998a).

1.1.9 Structure du secteur agricole, groupes de producteurs

Les industries des viandes rouges ont dépassé celles des céréales et des oléagineux sur le plan des recettes monétaires agricoles au cours de la décennie se terminant en 1996. Toutefois, en 1997, les encaissements des producteurs de céréales et d'oléagineux dépassaient celles des producteurs de viandes rouges. On prévoit, à moyen terme, une expansion importante de l'industrie du bétail dans l'Ouest du Canada. Si cette prévision se matérialise, les producteurs de viandes rouges reprendront leur position à la tête du peloton.

Les céréales et les oléagineux continuent de dominer les exportations canadiennes de produits agricoles, le blé demeurant de loin notre principal produit d'exportation. La production du canola s'est renforcée au cours des récentes années, principalement par suite d'une hausse de la demande à l'exportation.

La croissance du secteur des fruits et légumes et des autres groupes de produits agricoles laisse entrevoir une plus grande diversification de la production agricole canadienne.

1.1.10 Structure du secteur agricole, situation financière des exploitations

La situation financière des agriculteurs canadiens s'est améliorée tout au long des années 90. La valeur nette moyenne des exploitations agricoles canadiennes a augmenté entre 1995 et 1997 pour atteindre 646 426 de dollars (AAC, 1999). En 1995, la valeur nette moyenne des petites exploitations était de 327 479 de dollars, et celle des grandes exploitations était de 941 907 de dollars. La valeur nette moyenne des grandes exploitations a augmenté de 31 p. 100, comparativement à 19 p. 100 pour les plus petites, surtout à cause d'une augmentation plus rapide de la valeur des terres (AAC, 1998a).

1.1.11 Performance du secteur agricole, revenus des exploitations

Le revenu monétaire net représente la somme des recettes de la mise en marché des produits et des paiements versés dans le cadre des programmes, diminuée des dépenses d'exploitation après remises. Il représente l'argent disponible aux agriculteurs pour assurer leur subsistance, améliorer leur exploitation, épargner et investir à l'extérieur. Le revenu monétaire net est resté relativement stable pour la plus grande partie des années 90. Même si on prévoit une baisse des prix des produits pour la période 1997-1999, le programme Compte de stabilisation du revenu net atténuera cette baisse du revenu monétaire net des exploitations dans la plupart des secteurs de production.

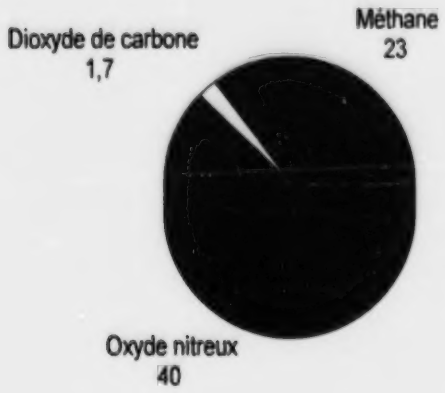
1.2 Les gaz à effet de serre et l'agriculture - Introduction

Les activités agricoles participent directement à la production de gaz à effet de serre de toutes sortes de façons. Voici quelques-unes des sources de ces gaz : fermentation entérique chez les animaux d'élevage; gestion du fumier, travail du sol et combustion des résidus agricoles. Diverses autres activités telles que l'irrigation et les façons culturales peuvent également produire des gaz à effet de serre d'origine anthropique, mais leurs incidences sont trop incertaines pour en permettre une estimation.

En 1996, les activités agricoles ont entraîné la libération de 64 Mt (millions de tonnes) de CO_2, soit environ 9,5 p. 100 des émissions totales de gaz à effet de serre au Canada (Environment Canada, 1998). Le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O) étaient les principaux gaz à effet de serre produits par les activités agricoles, représentant respectivement 36 et 61 p. 100 du total (Environment Canada, 1998). Les émissions de méthane provenant de la fermentation entérique et de la gestion du fumier représentent environ 22 et 5 p. 100 du total des émissions de CH_4 d'origine anthropique, respectivement (Environment Canada, 1998). De tous les animaux domestiques, les bovins de boucherie et les bovins laitiers sont de loin les principaux producteurs de méthane. Les activités de gestion des sols comme l'épandage d'engrais et d'autres pratiques culturales constituent les principales sources d'émissions d'oxyde nitreux, représentant environ 49 p. 100 des émissions totales canadiennes de N_2O (Environment Canada, 1998). La gestion du fumier et la combustion des résidus agricoles sont des sources moins importantes d'émissions de N_2O.

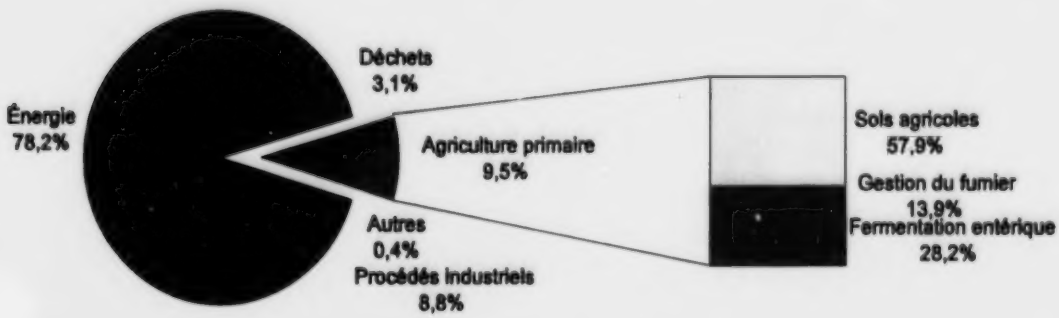
Gaz à effet de serre provenant de l'agriculture primaire en 1996

Mt d'équivalent CO2



Source : Sommaire des émissions de gaz à effet de serre au Canada en 1996 (ébauche)

Émissions de gaz à effet de serre dues à l'agriculture au Canada



Source : Sommaire des émissions de gaz à effet de serre au Canada en 1996 (ébauche)

1.3 Risques de réchauffement planétaire

Le rôle que peuvent jouer les différents gaz à effet de serre dans le forçage radiatif du climat varie énormément. Le calcul exact de l'intensité du forçage radiatif attribuable à des niveaux donnés d'émissions de ces gaz, entre le moment présent et un horizon temporel donné, exige un ensemble long et complexe d'opérations de calcul et d'intégration des changements survenus dans la composition de l'atmosphère au cours de la période visée. La mise au point d'un indice permettant de traduire le niveau des émissions de divers types de gaz en une mesure commune permettant de comparer les effets du forçage radiatif sans exiger le calcul direct des changements survenus dans les concentrations atmosphériques est le prérequis essentiel à toute intervention en matière de politique. Cette information peut servir à calculer la rentabilité des mesures de réduction de rechange, c'est-à-dire à comparer les réductions des émissions de CO_2 aux réductions des émissions de CH_4.

On a mis au point, au cours des récentes années, un certain nombre d'indices du potentiel de réchauffement planétaire (PRP). Ces indices tiennent compte des effets directs du dioxyde de carbone (CO_2), du méthane (CH_4), de l'oxyde nitreux (N_2O) et d'autres gaz. Ils permettent également d'estimer les effets indirects du forçage radiatif dus aux émissions de gaz qui ne sont pas considérés comme des gaz à effet de serre, mais qui favorisent des réactions chimiques capables de créer de tels gaz ou de les modifier. La notion de potentiel de réchauffement planétaire, élaborée par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), compare le risque de réchauffement planétaire que posent différents gaz à effet de serre (par exemple, en comparant l'effet d'une réduction des émissions de CO_2 à celui d'une réduction des émissions d'un autre gaz à effet de serre pour un horizon temporel donné).

L'aptitude d'un gaz à emmagasiner la chaleur dépend de sa capacité d'absorption et de réémission du rayonnement et de la durée de l'effet. Les molécules des gaz se dissocient graduellement ou réagissent avec d'autres composés atmosphériques pour former de nouvelles molécules présentant des propriétés radiatives différentes. Par exemple, le CH_4 a une durée de vie d'environ 12 ans, le N_2O de 130 ans et le CO_2 de 200 ans. Sur une période de 100 ans, le CH_4 présente un risque de réchauffement planétaire 21 fois supérieur à celui du CO_2. À mesure que le temps passe, certaines des molécules de CH_4 se décomposent pour former du CO_2 et de l'eau. On peut exprimer le risque de réchauffement planétaire en fonction d'horizons temporels de 20, 100 et 500 ans. Par souci de conformité avec les directives du GIEC, le présent document utilise le risque de réchauffement planétaire évalué sur 100 ans décrit dans le tableau ci-après.

Les indices PRP servent à convertir les gaz à effet de serre en équivalent CO_2 , ce qui permet de comparer facilement l'importance relative de gaz à effet de serre particulier. Le PRP deviendra une notion importante pour les pays qui cherchent à déterminer l'importance relative de chacune des principales sources d'émissions et à élaborer des stratégies appropriées de réduction de ces émissions. On a calculé les estimations du PRP de trois gaz à effet de serre différents pour un horizon temporel de 100 ans :

Potentiel de réchauffement planétaire (par unité de masse de gaz)
(Estimations actuelles fondées sur les lignes directrices du GIEC de 1996)

Gaz à effet de serre	PRP (100 ans)
Dioxyde de carbone	1
Méthane	21
Oxyde nitreux	310

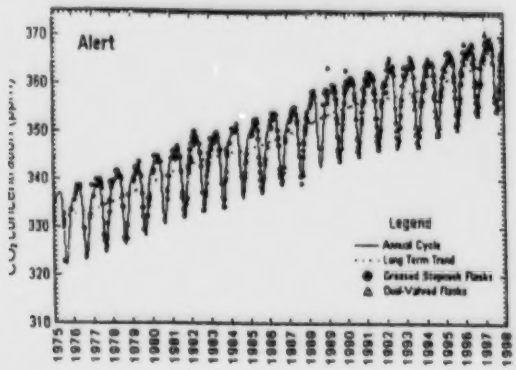
1.4 Dioxyde de carbone

1.4.1 Le cycle planétaire du carbone

Il existe environ 40 millions de mégatonnes (Mt) de carbone en circulation dans le monde (Janzen *et al.*, 1998). La majeure partie de ce carbone se trouve dans les océans, mais il en existe également d'importantes réserves dans les sols, la végétation et l'atmosphère. L'atmosphère est la plus active de ces trois dernières réserves de carbone. Le CO_2 atmosphérique est continuellement capté par les plantes, grâce à la photosynthèse, et absorbé dans les océans. En même temps, toutefois, il est rejeté dans l'atmosphère par les plantes, les sols et les océans. Ainsi, la concentration de CO_2 atmosphérique devrait rester constante d'une année à l'autre. L'analyse des bulles d'air emprisonnées dans les anciens glaciers et dans les coquillages enfouis dans les sédiments océaniques révèle que la concentration atmosphérique de CO_2 est restée la même (environ 270 grammes par mètre cube) pendant environ 10 000 ans.

Cet équilibre a été rompu avec la révolution industrielle. Depuis, la demande en énergie a entraîné l'extraction de quantités toujours plus grandes de combustibles fossiles emmagasinés dans des gisements profonds et leur conversion en CO_2 atmosphérique. Ce procédé récupère en fait du carbone accumulé dans une réserve inactive et le libère dans l'atmosphère sous forme de CO_2. D'autres activités ont également favorisé l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO_2 : le déboisement a entraîné la conversion du carbone des végétaux en CO_2 et le travail de sols jusque-là restés vierges aux fins de l'agriculture a entraîné la conversion du carbone qu'ils contenaient en CO_2. À cause de ces perturbations, les émissions de CO_2 dans l'atmosphère dépassent aujourd'hui sa disparition, ce qui entraîne une accumulation graduelle de ce gaz.

En 1995, la combustion des combustibles fossiles a dégagé à elle seule dans l'atmosphère 23 500 Mt de CO_2 (Janzen *et al.*, 1998). Le cycle naturel du carbone peut récupérer une partie de cette augmentation des émissions de CO_2 : certaines sont absorbées par les océans, et d'autres par une photosynthèse accrue des végétaux. Néanmoins, la quantité totale de CO_2 atmosphérique continue d'augmenter d'environ 11 700 Mt chaque année (Janzen *et al.*, 1998). Cette augmentation s'observe facilement sur les graphiques des mesures mensuelles du CO_2 atmosphérique réalisés à Alert (T.N.-O.) qui, en dépit des variations saisonnières reflétant la croissance des plantes, laissent voir une tendance à la hausse indéniable. Cette même tendance s'observe également ailleurs.



Source: Environment Canada

Concentrations mensuelles moyennes de dioxyde de carbone (1975-1998), Alert (T.N.-O.)

CO_2 concentrations (ppm) = Concentrations de CO_2 (g/m^3)

Legend = Légende
Annual Cycle = Cycle annuel
Long term Trend = Tendance à long terme
Greased Stopcock Flasks = Fioles à vannes graissées
Dual-Valved Flasks = Fioles à double vanne

Source: Environment Canada = Source : Environnement Canada

1.4.2 Cycles du carbone dans les écosystèmes agricoles

Le cycle du carbone dans les terres cultivées est plutôt simple, du moins en principe. Le CO_2 de l'atmosphère est absorbé par les feuilles des plantes, et transformé par la photosynthèse en composés carbonés comme les sucres, les glucides, la cellulose et la lignine. Une partie de ces matières est utilisée par les plantes, une autre est retirée au moment de la récolte (par exemple, dans les céréales) et le reste est retourné au sol. Ces résidus, y compris les racines, forment une partie de la matière organique du sol. Les microorganismes du sol décomposent à leur tour la matière organique et bouclent le cycle en rejetant du CO_2 dans l'atmosphère. Ce cycle est essentiellement le même dans tous les systèmes culturaux, mais le rythme des transformations dépend du climat et des types de sol et de culture.

Le bétail, lorsqu'il est présent, ajoute une autre composante au cycle du carbone. Au lieu d'être exportées, la plupart des matières végétales récoltées sont utilisées pour nourrir les animaux ou pour leur servir de litière. Une partie du carbone contenu dans ces végétaux est rejetée par les animaux dans l'atmosphère sous forme de CO_2 et de CH_4, une autre est exportée sous forme de produits animaux, mais une proportion importante retourne au sol sous forme de fumier. En conséquence, les systèmes fondés sur l'élevage du bétail retiennent souvent à la ferme des proportions plus élevées de carbone.

Dans les systèmes qui sont restés largement intouchés pendant plusieurs décennies, la quantité de carbone incorporée dans le sol sous forme de résidus végétaux s'équilibre habituellement avec la quantité de carbone convertie en CO_2 par l'activité des microorganismes du sol. En conséquence, malgré un apport continu de carbone dans le sol, la quantité de cet élément emmagasinée dans le sol peut rester stable à long terme.

1.4.3 Effets de la gestion sur le cycle du carbone

Tout changement apporté dans la gestion des terres risque de perturber le cycle du carbone, et de changer la quantité emmagasinée dans le sol. La mise en culture initiale des sols constitue peut-être l'exemple le plus frappant de ce phénomène. Cet événement, survenu dans beaucoup de régions agricoles du Canada il y a plus d'un siècle, a entraîné d'énormes pertes de carbone des sols : beaucoup des sols ont perdu environ 25 p. 100 du carbone qu'ils contenaient à l'origine dans leur couche superficielle riche en carbone, rejetant beaucoup de CO_2 dans l'atmosphère. Cette perte s'explique de diverses façons. Premièrement, une partie du carbone disparaît dans les produits récoltés, ce qui entraîne une baisse du carbone retourné dans le sol. La teneur en carbone est directement liée à la quantité de résidus de culture retournés dans le sol, et varie en rapport inverse du déficit en azote du sol. Diverses études ont démontré l'existence d'une forte corrélation positive entre la teneur des sols en azote organique et le volume des résidus de culture retournés, ainsi qu'une forte corrélation négative avec le déficit apparent en azote. En outre, le travail du sol et la production de cultures annuelles accélèrent souvent la conversion du carbone des sols en CO_2 par les microorganismes. Toutefois, après quelques décennies d'agriculture, les pertes de carbone diminuent habituellement ou cessent complètement, et un nouvel équilibre s'installe.

L'incidence de la mise en culture initiale sur le cycle du carbone appartient largement au passé. Aujourd'hui, nous nous intéressons davantage à la façon dont les pratiques actuelles ou leurs modifications futures pourraient influer sur le cycle du carbone. En choisissant leurs cultures, leurs façons culturales, leurs engrais et d'autres méthodes

d'intervention, les agriculteurs peuvent modifier le cycle du carbone et accroître ainsi la quantité de cet élément emmagasinée dans le système.

1.4.4 Mesure des effets de la gestion sur le cycle du carbone

Un des moyens de déterminer l'incidence des pratiques culturales sur le cycle du carbone consiste à mesurer l'ensemble des flux de carbone dans un champ cultivé (par exemple, en utilisant les fractions des isotopes du carbone). En soustrayant les quantités de carbone retirées du champ de celles qui y sont ajoutées, on peut déterminer le changement net. De telles mesures sont très utiles pour décrire les effets de la gestion sur le cycle du carbone, mais elles prennent beaucoup de temps et ne sont utilisées que dans des sites de recherches choisis.

On peut également mesurer l'échange net de CO_2 entre la végétation et l'atmosphère. Le transfert du CO_2 au-dessus des champs cultivés est mesuré en continu pendant des mois ou même des années à l'aide de capteurs installés dans des tours, ce qui permet de calculer l'échange de CO_2 sur des champs entiers. Les échanges de CO_2 sur des régions entières peuvent également être mesurés à l'aide de capteurs de CO_2 montés sur des avions. La mesure des différences de concentration de CO_2 entre les masses d'air ascendantes et descendantes permet d'estimer les différences spatiales de l'échange de CO_2 à un moment donné dans le temps. Toutes ces méthodes permettent de mesurer une moyenne des émissions nettes de CO_2 pour de grandes superficies, et de contourner ainsi le problème des variations naturelles qui s'observent d'un endroit à l'autre dans un champ. Elles présentent pour principaux inconvénients la nécessité de recourir à des instruments spécialisés et la difficulté d'intégrer les données à long terme.

Une troisième méthode, la plus largement utilisée, consiste à mesurer la variation survenue dans la quantité de carbone emmagasinée après un certain nombre d'années. Dans les champs cultivés (contrairement à ce qui se passe en forêt), la presque totalité du carbone est emmagasinée dans la matière organique du sol. En mesurant la quantité de carbone du sol à un moment donné puis plusieurs années plus tard, on peut déterminer s'il y a eu perte ou gain de carbone pour un mode de gestion donné. Une variation courante de cette approche consiste à comparer les changements survenus avec deux méthodes de traitement différentes. Par exemple, si on s'intéresse aux effets de la façon culturale sur l'entreposage du carbone, on peut maintenir côte à côte deux parcelles, l'une cultivée et l'autre pas, et comparer ensuite l'augmentation de la teneur en carbone entreposé dans les deux parcelles. Toutefois, la mesure des changements de la teneur en carbone du sol n'est pas facile. Les augmentations risquent d'être faibles (par exemple, 3 t/ha) comparativement à la quantité présente au départ (par exemple, 60 t/ha). La variabilité naturelle du carbone dans les champs, souvent bien plus importante que la différence qu'on cherche à mesurer, vient encore compliquer le problème. La mesure exacte de la variation de la teneur en carbone des sols nécessite par conséquent des échantillonnages et des analyses extrêmement soignés. Certains chercheurs ont mis l'accent sur des formes particulières de carbone du sol ou sur des marqueurs atomiques (isotopes) pour mesurer ces changements plus précisément. Ainsi, grâce aux mesures effectuées à des endroits précis, on peut vérifier les modèles, et accorder un certain degré de confiance à leurs prévisions pour des superficies plus grandes.

Pour estimer les effets de la gestion sur le cycle du carbone pour de grandes régions, il est nécessaire d'utiliser des modèles. Il peut s'agir d'équations très simples ou de programmes informatisés extrêmement complexes prenant en compte de nombreuses variables comme la température, le type de sol et les pratiques culturales pour prédire les transformations du carbone sur l'ensemble de l'exploitation agricole. Peu importe la complexité de ces modèles, leurs résultats doivent être vérifiés par la comparaison avec des mesures en conditions réelles.

1.4.5 Estimations des émissions de CO_2 au Canada

On peut mesurer les émissions nettes de CO_2 dues à l'agriculture au Canada en estimant l'évolution annuelle de la quantité de carbone emmagasinée et en y ajoutant les rejets de CO_2 provenant des combustibles fossiles. La plupart du carbone entreposé dans les agroécosystèmes se trouve dans le sol, et la mesure des gains ou des pertes de carbone du sol nous fournit donc une estimation de l'évolution de ce paramètre. Le tableau suivant présente les émissions estimées de CO_2 provenant directement ou indirectement de la production agricole canadienne.

Émissions estimées de CO_2 provenant directement ou indirectement de l'agriculture canadienne (Mt)*

	1991	1996
Émissions directes		
Sols	5,1	1,7*
Carburant utilisé à la ferme	8,1	9,5
Total des émissions directes	***13,2***	***11,2***
Utilisations indirectes de combustibles fossiles		
Fabrication, transport et épandage des engrais	5,1	6,6
Fabrication et réparation de la machinerie	4,8	4,8
Construction des bâtiments (fabrication d'acier et de ciment)	2,3	2,2
Fabrication de pesticides	0,3	0,3
Production d'électricité	2,1	2,4
Total des émissions indirectes provenant des combustibles fossiles	***14,6***	***16,3***
Total des émissions attribuables à l'agriculture	**27,8**	**27,5**

* Conformément aux lignes directrices du GIEC de 1996, seules les émissions directes provenant des sols seront attribuées à l'agriculture, les autres sources étant attribuées au secteur énergétique et aux transports.
Source : Janzen *et al.*, 1998; E. Coxworth *et al.*, 1995)

1.4.6 Estimation de l'évolution de la concentration du carbone dans le sol

La variabilité des propriétés des sols et des pratiques de gestion d'une région à l'autre du pays compliquent l'estimation de l'évolution de la concentration du carbone des sols pour l'ensemble des régions agricoles canadiennes. Comme la mesure directe de cette évolution nécessiterait un effort énorme, nos estimations doivent s'appuyer sur des modèles mathématiques. Le modèle CENTURY utilise les rapports simplifiés correspondant aux interactions entre le sol, les végétaux et le climat pour décrire les caractéristiques dynamiques du carbone et de l'azote des sols dans des sites particuliers des prairies, des terres cultivées, des forêts ou des savanes. Il tient compte de diverses pratiques de gestion agricole, y compris l'ensemencement, l'épandage d'engrais, le travail du sol, la paissance et l'ajout de matières organiques. Il simule la production végétale souterraine et aérienne en fonction de la température du sol et de la disponibilité de l'eau et des matières nutritives.

Dans une récente étude, le modèle CENTURY a servi à prédire l'évolution de la concentration du carbone dans les sols agricoles canadiens à partir de données climatiques et pédologiques provenant de sites répartis dans tout le Canada. Les informations sur les pratiques culturales ont été tirées de données récentes de Statistique Canada. L'étude a pris en compte les principaux systèmes agricoles canadiens, sans toutefois inclure toutes les variations possibles. Voici quelques-uns des facteurs qui ont été exclus : a) la combustion de la biomasse, une pratique encore assez utilisée dans la vallée de la rivière Rouge; b) l'érosion des sols, qui déplace le carbone d'un endroit à l'autre du paysage; c) l'ajout de fumier; d) les cultures mineures comme celles de la pomme de la terre et des légumineuses annuelles; e) le travail réduit du sol, solution intermédiaire entre le travail « normal » et la culture sans travail du sol. Certains de ces facteurs pourraient être inclus dans les analyses futures.

Les prévisions du modèle concordent avec les observations historiques : les concentrations de carbone du sol diminuent rapidement après la mise en culture initiale, mais le taux de réduction diminue graduellement avec le temps et les sols tendent à un nouvel « état d'équilibre » sans perte de carbone. Selon le modèle, les pertes actuelles de carbone sont négligeables. Le modèle prédit en outre que les sols commenceront à récupérer une partie du carbone perdu grâce à l'adoption de pratiques culturales améliorées comme la culture sans travail du sol et la

réduction des jachères. Selon le modèle, les sols agricoles perdaient du carbone au rythme d'environ 3 Mt par année en 1970, mais récupéreraient ce carbone au rythme de 0,4 Mt par année d'ici à 2010 (W. Smith *et al.*, 1997). Les taux prévus de changement de la teneur en carbone varient d'une région à l'autre, reflétant l'adoption variable de pratiques culturales améliorées et les différences dans les propriétés des sols.

Tous ces taux prévus de changement sont très faibles comparativement à la quantité totale de carbone entreposée. Par exemple, un gain de 0,4 Mt par année équivaut à un taux inférieur à 0,01 tonne de carbone par hectare et par année, lorsqu'on calcule la moyenne sur l'ensemble des sols cultivés du Canada. Il s'agit-là d'une très mince fraction du carbone total des sols, qui varie habituellement entre 60 et 100 tonnes par hectare (W. Smith *et al.*, 1997).

Les prévisions du modèle CENTURY nous fournissent les meilleures estimations actuelles de l'évolution de la concentration du carbone des sols au pays. Comparées aux données actuelles sur les changements de concentration de carbone des terres cultivées sans travail du sol, les estimations du modèle paraissent faibles en proportion, le rapport entre les deux pouvant atteindre jusqu'à 50 p. 100. Les estimations actuelles s'appuient sur plusieurs hypothèses simplificatrices et n'ont pas encore fait l'objet de tests complets pour l'ensemble des conditions canadiennes. Au gré des recherches futures et à mesure qu'on améliorera la fiabilité des modèles, ces estimations pourraient être corrigées.

1.4.7 Émissions dues à l'utilisation des combustibles fossiles

La deuxième source principale de CO_2 en agriculture, mis à part le cycle biologique du carbone, est l'utilisation des combustibles fossiles. L'utilisation directe des combustibles dans les fermes canadiennes produit presque 9 Mt de CO_2 chaque année (Janzen *et al.*, 1998; E. Coxworth, 1995). D'autres sources indirectes, liées à la production ou au transport des facteurs de production, en produisent également. Parmi ces dernières, la fabrication et le transport des engrais (commerciaux) est la plus importante. Les émissions provenant de cette source ont augmenté régulièrement à cause des quantités de plus en plus grandes d'engrais utilisées en agriculture. D'importantes quantités de CO_2 sont également produites par la fabrication de la machinerie agricole, la construction des bâtiments et la production d'électricité. Les émissions combinées de CO_2 provenant de sources indirectes atteignaient environ 16 Mt en 1996 (Janzen *et al.*, 1998; E. Coxworth , 1995).

Les émissions totales de CO_2 provenant de l'utilisation des combustibles fossiles sur les fermes canadiennes atteignent donc environ 26 Mt (7 Mt de C) (Janzen *et al.*, 1998). Toutefois, dans le calcul des inventaires nationaux, seul le CO_2 produit à partir de sources de combustion stationnaires (environ 1 Mt de CO_2) est pris en compte dans les estimations du CO_2 d'origine agricole; le reste est inclus dans les émissions provenant des secteurs de la fabrication, de la construction et du transport.

1.4.8 Résumé des émissions de CO_2

Le total des émissions de CO_2 provenant des activités agricoles canadiennes correspond à la somme des pertes nettes de carbone du sol et des émissions provenant des utilisations directes et indirectes des combustibles fossiles. Ces estimations indiquent que, en 1996, les activités agricoles ont entraîné la libération dans l'atmosphère d'environ 28 Mt de CO_2 (8 Mt de C) (Janzen *et al.*, 1998), soit un peu moins qu'en 1981. Selon les projections effectuées pour l'an 2010, les émissions totales ne changeront pas sensiblement par rapport à celles de 1996. Les émissions provenant des sols devraient diminuer et devenir négatives (gains de C des sols) mais, en même temps, les émissions de sources indirectes pourraient augmenter et annuler les progrès réalisés. Toutefois, ces estimations présument du maintien des pratiques actuelles et ne tiennent toujours pas compte des avantages qu'on pourrait retirer d'efforts concertés de réduction des émissions.

1.5 Méthane

Même s'il n'est présent dans l'atmosphère qu'en très faibles concentrations, le méthane a un effet beaucoup plus marqué que le CO_2 sur le réchauffement planétaire. Cet effet, 21 fois plus important que celui du CO_2 au cours des 100 dernières années, découle non seulement des caractéristiques propres au CH_4, mais également du CO_2 qu'il finit par produire ainsi que d'autres effets indirects.

La concentration de CH_4 dans l'atmosphère, qui a déjà augmenté au rythme annuel de 1,1 p. 100, augmente actuellement d'environ 0,6 p. 100 par année. À l'échelle planétaire l'agriculture constitue une source très importante de CH_4, étant responsable des deux tiers environ des émissions anthropiques de ce gaz (IPPC, 1996a).

La majeure partie du méthane produit par l'agriculture vient de la décomposition de la matière végétale par les microorganismes. Normalement, lorsque l'approvisionnement en oxygène est adéquat, le carbone des matières végétales en décomposition est surtout converti en CO_2. Toutefois, en l'absence d'oxygène, la décomposition est « incomplète », et le carbone est plutôt libéré sous forme de CH_4. Dans les systèmes agricoles, de telles conditions existent dans le système digestif des ruminants et dans les sols gorgés d'eau. La combustion des combustibles et des déchets organiques peut également en produire de petites quantités, lorsqu'elle est incomplète. Le méthane et le CO_2 sont donc dans un certain sens complémentaires : le carbone non converti en CH_4 est libéré principalement sous forme de CO_2.

Le CH_4 libéré dans l'atmosphère y persiste en moyenne pendant huit à dix ans. Il y est surtout converti en CO_2 par les réactions chimiques atmosphériques. Une faible proportion de ce gaz, probablement inférieure à 10 p. 100 des volumes rejetés dans l'atmosphère, est convertie en CO_2 par les microorganismes du sol.

1.5.1 Émissions de méthane par le bétail

La digestion des aliments par les animaux produit aussi du méthane. Les bovins, les moutons, les chèvres et les autres ruminants sont ceux qui en produisent le plus. L'estomac de ces animaux comporte en effet un compartiment appelé panse, ou rumen, où les aliments sont pré-digérés par la fermentation bactérienne. Ce système permet aux ruminants de digérer plus efficacement leurs aliments fibreux, mais comme la fermentation se produit dans des conditions d'approvisionnement limité en oxygène, une partie du carbone contenu dans les aliments atteignant souvent environ 5 à 10 p. 100 du total est rejetée sous forme de CH_4. Les animaux non ruminants comme les porcs et la volaille produisent également du CH_4 pendant leur digestion, mais les quantités sont beaucoup plus faibles et presque négligeables en comparaison.

1.5.1.1 Mesure des émissions de méthane

On peut mesurer de diverses façons la quantité de CH_4 produite par le bétail. Une des méthodes consiste à placer l'animal dans une enceinte fermée et à mesurer l'accumulation du CH_4 dans l'air. Cette méthode permet d'effectuer un dosage précis, mais les résultats peuvent être faussés puisque l'animal ne se trouve pas dans son environnement normal. En conséquence, les chercheurs se sont récemment employés à mesurer les émissions de CH_4 des animaux placés dans leur environnement naturel. Ils ont mesuré la concentration de CH_4 dans l'air expulsé par les systèmes de ventilation d'une étable à vaches laitières, et calculé ainsi les émissions provenant de toutes les vaches présentes, ainsi que de leur fumier. À l'aide de cette méthode, ils ont non seulement réussi à estimer le taux moyen de production de CH_4 par animal (environ 0,81 litre par kg de poids corporel par jour), mais également les fluctuations quotidiennes et saisonnières de ces taux d'émissions (Kinsman *et al.*, 1995).

La mesure du CH_4 produit par les animaux au pâturage présente plus de difficultés. Cependant, les chercheurs disposent aujourd'hui d'une nouvelle technique fondée sur l'utilisation d'un marqueur chimique qui permet la mesure directe du CH_4 produit par ces animaux. Cette méthode, utilisée dans le cadre d'une étude réalisée au Manitoba, a montré que le taux d'émissions était d'environ 0,7 litre par kg de poids corporel par jour (0,5 g de CH_4 par kg de poids corporel par jour) (McCaughey *et al.*, 1997).

1.5.1.2 Facteurs influant sur les émissions de méthane

De nombreux facteurs peuvent influer sur les taux d'émissions de CH_4 par les ruminants. Ces facteurs sont raisonnablement bien connus puisque les pertes de CH_4 sont un reflet de l'utilisation incomplète de l'énergie des aliments. Les émissions de CH_4 peuvent en effet représenter une perte de l'énergie brute des aliments atteignant jusqu'à 5 à 10 p. 100. En conséquence, les chercheurs ont commencé à s'intéresser aux facteurs influant sur les émissions de CH_4 longtemps avant qu'on ne commence à s'inquiéter des effets environnementaux de ce gaz.

La qualité des aliments est un des facteurs qui influent le plus sur les taux d'émissions de CH_4. En général, les régimes favorisant une augmentation du taux de digestion réduisent les émissions de CH_4 puisque les aliments ne séjournent pas dans le rumen aussi longtemps. Ainsi, la proportion de fourrage grossier contenue dans les aliments, la méthode de conservation, le stade de croissance des plantes fourragères, le degré de hachage ou de broyage, la quantité de grain utilisée et l'addition d'huiles influent sur les émissions de CH_4. Par exemple, un fourrage fait de légumineuses plutôt que d'herbacées, d'ensilage plutôt que d'aliments séchés ou à forte teneur en concentrés plutôt qu'à forte teneur en fourrage pourra donner des émissions moins élevées de CH_4.

La quantité d'aliments consommée joue également un rôle important. Lorsque la consommation dépasse les niveaux d'entretien, la quantité de CH_4 produite par chaque animal augmente, mais l'efficacité de l'utilisation des aliments augmente également. En conséquence, les émissions de CH_4 mesurées par unité de produit sont habituellement moindres lorsque les niveaux de consommation sont plus élevés. Pour cette raison, il est souvent préférable d'évaluer les émissions de CH_4 par unité de produit plutôt que par animal ou par unité d'aliment. Par exemple, les vaches laitières de l'Est du Canada produisent environ 14 g de CH_4 par kg de lait, soit moins que les valeurs mesurées ailleurs qui peuvent atteindre jusqu'à 242 g de CH_4 par kg de lait.

Le type d'animal – sa race, son poids, son taux de croissance et le fait qu'il soit ou non en période de lactation – influe également sur les émissions de CH_4. Le milieu peut également jouer un rôle. Par exemple, selon certaines recherches, les émissions de CH_4 augmenteraient aux températures plus basses, même si ces conclusions restent quelque peu incertaines.

Compte tenu du grand nombre de facteurs qui peuvent influer sur les émissions de CH_4 par le bétail, il pourrait être possible de réduire ces émissions en modifiant les pratiques de conduite de l'élevage.

1.5.1.3 Estimations des émissions de CH_4 provenant du bétail

On peut estimer les émissions directes de CH_4 provenant des animaux de ferme canadiens en multipliant le nombre d'animaux par un taux d'émissions moyen par animal. Cette méthode a permis d'évaluer les émissions directes de CH_4 provenant des animaux de ferme canadiens en 1991 à environ 0,771 Mt (R.L. Desjardins, 1997). Les bovins de boucherie étaient responsables de 72 p. 100 de ces émissions, et les bovins laitiers de 25 p. 100. Les émissions directes provenant des autres types de bestiaux étaient presque négligeables en comparaison.

Estimations des émissions de CH_4 provenant du bétail et du fumier au Canada, en 1991

	Nombre d'animaux (millions)	Masse du fumier (Mt)	Méthane provenant du fumier (Mt de CH_4)	Méthane provenant de la respiration et de la digestion (Mt de CH_4)	Masse totale de méthane (Mt de CH_4)
Bovins laitiers	1,9	17	0,07	0,19	0,26
Bovins de boucherie	10,7	98	0,01	0,558	0,568
Porcs	10,2	19	0,102	0,015	0,117
Volaille	103	3	0,008	s.o.	0,008
Moutons/ agneaux	0,9	0,4	0,0002	0,0075	0,008
chevaux	0,42	s.o.	s.o.	s.o.	0,0055[1]
Total	127	137	0,19	0,771	0,961

Source : Desjardins, 1997

[1] Les émissions totales de méthane provenant des chevaux ont été calculées à partir de la valeur de 13 kg/animal/année indiquée dans l'Inventaire national.

1.5.2 Émissions de méthane provenant du fumier

Le méthane est produit non seulement par les animaux eux-mêmes, mais également par leurs excréments. Le fumier, comme les autres matières organiques, est décomposé par les microorganismes. Lorsque cette décomposition se produit en présence de quantités suffisantes d'oxygène, le carbone est surtout libéré sous forme de CO_2. Toutefois, lorsque l'apport en oxygène est insuffisant, des quantités importantes de CH_4 peuvent être produites.

Le ratio CO_2/CH_4 dépend de la méthode de gestion du fumier. Le CH_4 provenant du fumier est surtout produit pendant l'entreposage. Lorsque le fumier est entassé, l'absence d'oxygène à l'intérieur de la masse peut conduire à la production de CH_4. Pour les mêmes raisons, la production de CH_4 à partir du fumier entreposé sous forme liquide pourra être encore plus élevée. Ainsi, le lisier de porc peut produire de très grandes quantités de CH_4. Lorsqu'il est épandu sur les terres, le fumier produit très peu de CH_4 supplémentaire puisqu'il est adéquatement exposé à l'air.

On n'a procédé qu'à des mesures préliminaires des émissions de CH_4 provenant du fumier dans les conditions qui existent au Canada. Toutefois, ces estimations sont souvent inférieures à celles obtenues ailleurs. Dans une étude réalisée à Ottawa, les émissions de CH_4 provenant d'un réservoir souterrain ont atteint environ 15 litres par vache par jour, soit 10 p. 100 environ des volumes mesurés sous des climats plus doux. De même, les émissions provenant de lisier de porc n'ont atteint que 10 à 20 p. 100 de celles mesurées dans d'autres pays. Ces résultats portent à conclure que les températures plus fraîches qui caractérisent le Canada pourraient donner des émissions de CH_4 moins élevées qu'ailleurs.

En utilisant des estimations de la production de fumier et des taux d'émission de CH_4, il est possible de calculer la quantité approximative de CH_4 produite par le fumier au Canada. Selon ces estimations, les émissions provenant de cette source représentent environ 20 p. 100 du total du CH_4 produit par le bétail (fumier plus émissions directes). En particulier, ces estimations indiquent que le lisier de porc est une source importante de CH_4, tant à cause du grand nombre de ces animaux que de la façon dont ce lisier est entreposé.

1.5.3 Émissions de méthane et absorption par les sols

Les sols peuvent émettre du CH_4 ou l'absorber, et la différence dépend en grande partie de leur degré d'humidité. Lorsque les matières organiques se décomposent dans des sols immergés, elles produisent de grandes quantités de CH_4 puisque l'eau limite l'apport en oxygène. Dans les sols agricoles du Canada, toutefois, les émissions de CH_4 sont probablement limitées à des zones humides localisées et, peut-être, à de brèves périodes d'immersion des terres basses pendant la fonte des neiges ou après des précipitations importantes. La plupart des sols sont suffisamment aérés pour ne pas produire de CH_4; en fait, les microorganismes du sol convertissent le CH_4 en CO_2 et font de ces sols de véritables puits de CH_4. La quantité consommée dépend dans une certaine mesure des pratiques de gestion. Par exemple, l'absorption de CH_4 est habituellement plus élevée dans les sols des prairies que dans les sols labourés, et elle est bloquée par l'épandage d'engrais azotés.

Même si l'absorption du CH_4 par les sols constitue un maillon important du cycle global du CH_4, les quantités absorbées par les sols agricoles canadiens sont probablement très petites comparativement aux émissions totales des exploitations agricoles. On estime à environ 0,012 Mt l'absorption annuelle nette de CH_4 par les sols agricoles au Canada. (R.L. Desjardins, 1997). Cette quantité est petite, si on la compare aux émissions du bétail. Même d'importantes augmentations de la quantité de CH_4 absorbée par les sols ne permettraient d'éliminer qu'une faible proportion des émissions actuelles provenant du bétail et du fumier.

Estimations des émissions totales de CH_4 produites par l'agriculture canadienne pour les années 1981, 1986, 1991 et 1996

	1981	1986	1991	1996
Respiration et digestion	0,849	0,748	0,771	0,879
Fumier	0,208	0,192	0,19	0,208
Sols	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012
Combustibles	0,001	0,001	0,001	0,001
Total (Mt de CH_4)	1,045	0,928	0,95	1,075
Total (Mt d'équivalent CO_2)	22	20	20	23

Source : R.L. Desjardins, 1997

1.5.4 Autres sources de méthane

La volatilisation et la combustion des combustibles fossiles utilisés en agriculture produisent de petites quantités de CH_4. Ces émissions représentent environ 0,001 Mt de CH_4 par année (R.L. Desjardins, 1997). La combustion des résidus de culture en produit également, mais il ne s'agit que de petites quantités qui continueront de diminuer avec l'abandon graduel de cette pratique.

1.5.5 Estimations des émissions nettes de toutes sources

Les émissions de CH_4 provenant des fermes canadiennes sont presque entièrement dues au bétail. Selon les estimations actuelles, les exploitations agricoles canadiennes ont produit en 1996 environ 1 Mt de CH_4 (R.L. Desjardins, 1997). Le bétail a produit directement environ 80 p. 100 du total, le reste venant du fumier.

Les variations observées dans les émissions annuelles sont un reflet des fluctuations du nombre d'animaux en fonction du coût des aliments, des prix de la viande, du lait et des oeufs et des marchés d'exportation. Si le nombre d'animaux de ferme augmente comme prévu, il est possible qu'on observe des hausses des émissions de CH_4, à moins que de nouvelles méthodes ne soient adoptées pour réduire les émissions de chaque animal.

1.6 Oxyde nitreux

L'oxyde nitreux (N_2O) n'existe à l'état naturel dans l'atmosphère qu'en très faibles concentrations (environ 300 grammes par mille mètres cubes), mais cette concentration augmente actuellement au rythme d'environ 0,3 p. 100 par année. Cette augmentation provient pour une bonne part de l'agriculture, qui est responsable d'une proportion des émissions anthropiques de N_2O pouvant atteindre jusqu'à 70 p. 100 (Mosier, 1993).

Cette augmentation présente deux dangers possibles. Premièrement, le N_2O est un gaz à effet de serre extrêmement efficace qui persiste très longtemps dans l'atmosphère (environ 170 ans). Son potentiel de réchauffement sur 100 ans est environ 310 fois plus élevé que celui du CO_2. Deuxièmement, le N_2O rejeté dans l'atmosphère fini par se convertir en oxyde nitrique (NO), un gaz destructeur de la couche d'ozone (O_3). L'ozone présent dans la haute atmosphère filtre le rayonnement ultraviolet (UV) du soleil, et sa destruction permet à une proportion plus grande du rayonnement UV nuisible d'atteindre la surface de la terre. Ainsi, des concentrations plus élevées de N_2O contribueront non seulement à l'effet de serre, mais pourraient aussi augmenter indirectement l'intensité du rayonnement UV.

La plus grande partie du N_2O d'origine agricole est produite dans le sol. Pour comprendre les origines du N_2O et les facteurs qui influent sur sa libération, il est utile de revenir sur le cycle global de l'azote à la ferme.

1.6.1 Cycle de l'azote

Il existe dans les écosystèmes terrestres trois grandes réserves d'azote : le sol, les plantes et l'atmosphère. L'atmosphère constitue la plus importante réserve d'azote. La colonne d'air surplombant un hectare de terre contient environ 0,076 Mt d'azote, soit environ un million de fois le volume utilisé par les plantes chaque année. La presque totalité de cet azote existe toutefois à l'état de gaz presque inerte (N_2) qui n'est pas directement utilisable par les plantes.

Même si elles baignent dans un océan d'azote gazeux, les plantes obtiennent la plupart de l'azote dont elles ont besoin en absorbant, par leurs racines, le nitrate (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+) dissous dans l'eau du sol. À la mort de ces plantes, l'azote qu'elles contiennent est retourné dans le sol où il s'intègre à la matière organique. Cette dernière est à son tour graduellement décomposée par les microorganismes du sol, qui rejettent du NH_4^+ pouvant ultérieurement être converti en NO_3^-. Ces formes d'azote redeviennent accessibles aux plantes, ce qui boucle le cycle. Dans les systèmes « naturels », ce cycle entre le sol et les plantes peut se maintenir presque indéfiniment, avec un apport minime d'azote d'origine atmosphérique produit par la foudre ou par des bactéries spécialisées du sol.

Le cycle de l'azote des terres agricoles est plus complexe. Dans ce système, des quantités importantes d'azote sont retirées des champs par les céréales et les autres produits récoltés. En fait, les systèmes culturaux sont souvent conçus précisément pour maximiser la quantité d'azote (sous forme de protéines) contenue dans les portions des plantes qui sont récoltées. Par exemple, dans le cas du blé à haut rendement, la quantité d'azote retirée du champ dans les céréales chaque année atteint plus de 100 kg/ha. En conséquence pour maintenir le cycle et la croissance des récoltes, l'azote ainsi perdu doit être remplacé par des apports de l'extérieur.

L'atmosphère est la principale source de cet azote de remplacement. Il existe deux façon de convertir le N_2 inerte en une forme utilisable par les plantes. La première, de nature industrielle, consiste à utiliser l'énergie des combustibles fossiles pour convertir le N_2 en engrais « chimique ». La seconde, biologique, consiste à planter des légumineuses comme la luzerne, le trèfle, les haricots et les pois. La fixation biologique de l'azote fournit à l'échelle planétaire quelque 90 à 140 Mt d'azote par année aux systèmes agricoles. Même si ces chiffres mériteraient d'être vérifiés, tout indique que la fixation biologique fournit davantage pour la croissance des végétaux que la quantité totale d'engrais azotés de synthèse répandue sur les cultures chaque année. Les racines des plantes utilisées pour la fixation biologique comportent des nodules contenant des bactéries capables de convertir le N_2 en azote assimilable par les plantes. Les plantes en question absorbent cet azote, puis meurent et se décomposent en rejetant dans le sol l'azote sous forme de NH_4^+.

L'azote contenu dans les engrais et produit par les légumineuses a permis d'augmenter considérablement la production d'aliments, et il en faudra encore davantage à l'avenir pour nourrir une population croissante. À l'échelle planétaire, les apports d'azote provenant de ces sources dépassent déjà actuellement les apports provenant de sources « naturelles » (principalement la fixation par la foudre et par les bactéries qui ne sont pas associées aux plantes cultivées). Cet apport d'azote supplémentaire soutient la production alimentaire, mais il exerce en même temps des pressions sur le cycle de l'azote et entraîne souvent des pertes ou des « fuites » d'azote dans l'environnement. Une proportion d'environ 10 à 20 p. 100 de l'azote des engrais pourrait être entraînée dans l'eau souterraine. Par ailleurs, l'azote risque d'être libéré dans l'air sous diverses formes gazeuses : l'ammoniac (NH_3), l'oxyde nitrique (NO), le N_2, et le N_2O. La plupart de ces fuites proviennent de la réserve d'azote assimilable par les plantes (NH_4^+, NO_3^-). En conséquence, les pertes les plus élevées surviennent lorsque ces formes d'azote sont ajoutées en quantités plus grandes que ce que les plantes peuvent utiliser, ou pendant des périodes où les plantes ne poussent pas.

1.6.2 Formation de l'oxyde nitreux

L'oxyde nitreux (N_2O) peut être produit à deux endroits du cycle de l'azote : pendant la nitrification (conversion du NH_4^+ en NO_3^-), et pendant la dénitrification (conversion du NO_3^- en N_2 gazeux). Ces deux transformations sont réalisées par les bactéries du sol.

1.6.2.1 Nitrification

La majeure partie de l'azote qui aboutit dans le sol y arrive sous forme de NH_4^+ ou sous une forme transformable en NH_4^+. L'azote contenu dans les résidus de culture existe principalement sous forme de molécules organiques (par exemple des protéines) dont la décomposition produit du NH_4^+. De même, la plupart des engrais azotés utilisés au Canada contiennent du NH_4^+ ou une autre forme d'azote (comme l'urée) qui se transforme en NH_4^+ très rapidement après l'épandage. La majeure partie de l'azote ajouté aux sols subit donc ce processus de nitrification.

Pendant la nitrification, l'azote est surtout rejeté sous forme de nitrate (NO_3^-), mais une très faible proportion (habituellement moins de 1 p. 100) peut s'échapper sous forme de N_2O. En général, plus la quantité de NH_4^+ est grande, plus la nitrification sera importante et plus grand sera le risque de rejet de N_2O. Toutefois, la proportion de l'azote rejeté sous forme de N_2O n'est pas fixe; par exemple, lorsque les conditions d'aération sont bonnes et les concentrations de NH_4^+ élevées, la quantité de N_2O produite sera moins importante que lorsque les concentrations d'oxygène ou de NH_4^+ sont faibles. Ainsi, la quantité de N_2O produite par la nitrification risque de ne pas correspondre directement à la quantité d'azote utilisée au départ.

1.6.2.2 Dénitrification

Lorsque la pénétration de l'oxygène dans le sol est limitée, le nitrate (NO_3^-) peut être converti en azote gazeux (N_2) par un procédé appelé dénitrification. En l'absence d'oxygène, certaines bactéries oxydent l'azote du NO_3^- pour ainsi produire du N_2. Toutefois, comme dans le cas de la nitrification, une faible proportion du NO_3^- dénitrifié peut être libérée sous forme de N_2O. Trois facteurs principaux influent sur le taux de dénitrification : l'apport en oxygène, la concentration du NO_3^- et la quantité de carbone disponible (servant de source d'énergie aux bactéries). Les taux de dénitrification les plus élevés s'observent lorsque les trois facteurs sont présents : faible teneur en oxygène, et teneur élevée en NO_3^- et en carbone disponible. L'absence de l'un ou l'autre de ces facteurs peut réduire la dénitrification à des taux négligeables. Comme elle ne survient qu'en l'absence d'oxygène, la dénitrification est plus intense dans les sols gorgés d'eau. Une certaine dénitrification peut également se produire à l'intérieur des nodules des racines de légumineuses.

Toutefois, la quantité de N_2O libérée dépend non seulement du taux de dénitrification, mais également du ratio N_2O/N_2 produit. Ce ratio est extrêmement variable et tend à baisser lorsque les conditions sont favorables à des taux élevés de dénitrification.

On a souvent tendance à songer uniquement à la dénitrification qui survient dans les champs. Pourtant, l'azote retiré du sol peut également être converti en N_2 ou en N_2O. Par exemple, le NO_3^- extrait du sol par lessivage finit par

aboutir dans l'eau souterraine ou dans les sédiments des cours d'eau et des lacs où il peut subir la dénitrification. En conséquence, la quantité de N_2O produite par les activités agricoles risque d'être beaucoup plus élevée que celle produite directement à partir du sol.

Dans les fermes canadiennes, la dénitrification est probablement une source de N_2O plus importante que la nitrification. Les émissions de N_2O provenant de la dénitrification peuvent être plusieurs fois plus élevées que celles découlant de la nitrification, mais il est difficile de distinguer les deux sources, et leur importance relative varie largement d'un endroit à l'autre.

Émissions d'oxyde nitreux en 1991 et en 1996 (équivalent CO_2, pour un horizon temporel de 100 ans)

	1991	**1996**
Émissions directes des sols	17,9	21,5
Émissions directes des systèmes de production animale	6,7	7,6
Émissions indirectes des systèmes agricoles	9,6	11,8
Émissions totales	**34,3**	**40,9**

Source : Monteverde *et al.*, 1997

1.6.3 Pratiques de gestion influant sur les émissions de N_2O

i) Types d'engrais utilisés

On utilise au Canada toute une gamme d'engrais commerciaux pour accroître la teneur des sols en azote. L'urée et l'ammoniac anhydre (ammoniac pressurisé) sont les formes les plus courantes; elles représentaient ensemble presque 75 p. 100 de tout l'azote épandu sur les terres au Canada en 1997 (M. Korol et G. Rattray, 1998). L'azote présent dans la plupart des engrais existe sous forme de NH_4^+ ou sous une forme qui se convertit rapidement en NH_4^+ après l'épandage. Par exemple, l'ammoniac anhydre se transforme en NH_4^+ dès qu'il réagit avec l'eau du sol tandis que l'urée est convertie par les enzymes du sol en NH_4^+ et en CO_2 dans les jours qui suivent son épandage. Ainsi, la majeure partie de l'azote contenu dans les engrais subit une nitrification (conversion en NO_3^-) et peut donc produire une certaine quantité de N_2O.

Pendant leurs réactions initiales, les engrais peuvent influer sur le pH, la teneur en carbone soluble et d'autres propriétés des sols au voisinage immédiat des épandages. Ces effets varient selon le type d'engrais de sorte que la formation de N_2O pendant la nitrification peut varier d'un engrais à l'autre. En fait, certaines recherches indiquent qu'il pourrait exister d'importantes différences quant aux émissions de N_2O entre les diverses formes d'engrais. Les émissions les plus importantes (0,5 à 2,7 p. 100 de N) pourraient être causées par l'ammoniac anhydre, et les plus faibles (0,05 à 0,07 p. 100) par le nitrate de calcium, présumément à cause du fait que l'azote contenu dans ce produit ne subit pas la nitrification.

Dans une étude réalisée à Elora (Ontario), on a comparé les émissions d'oxyde nitreux provenant de diverses formes d'engrais. Des quantités équivalentes d'azote ont été épandues sur de l'herbe à gazon sous des formes diverses : nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), urée ($CO(NH_2)_2$), et urée à libération lente. L'urée à libération lente n'a donné que très peu d'émissions de N_2O, probablement à cause du fait que la libération graduelle de l'azote coïncidait avec les besoins des plantes et évitait ainsi l'accumulation de NH_4^+ ou de NO_3^-. Les deux autres sources ont donné des émissions importantes, et légèrement supérieures pour le nitrate d'ammonium.

La forme physique et l'application des engrais peut également influer sur les émissions de N_2O. Par exemple, les résultats d'une étude réalisée en laboratoire indiquent que les émissions pourraient être plus élevées lorsqu'on utilise des granules que lorsqu'on choisit des particules fines mélangées dans le sol. Les engrais moulus plus finement se dispersent plus facilement dans le sol et ont probablement moins d'effet sur le pH du sol, au voisinage immédiat

des particules individuelles. De la même façon, l'épandage par bandes concentre l'azote dans des zones localisées et pourrait influer également sur les émissions de N_2O.

Même si ces données ainsi que d'autres portent à croire que le type d'engrais et son application peuvent influer sur les émissions de N_2O, cet effet n'a pas été encore entièrement défini. Comme les émissions de N_2O dépendent également d'autres facteurs comme la dose appliquée, les propriétés du sol et la rotation des cultures, l'effet du type d'engrais utilisé risque de ne pas toujours être le même.

ii) Gestion du fumier

Une forte proportion de l'azote contenu dans les aliments du bétail peut aboutir dans l'urine et les matières fécales. Par exemple, une vache laitière peut excréter en un an, dans certaines conditions, jusqu'à 100 kg d'azote ou plus. Ainsi, le fumier des animaux en contient de très grandes quantités. Au Canada, l'azote excrété chaque année par le bétail équivaut en gros aux quantités épandues sous forme d'engrais. L'épandage d'éléments fertilisants, notamment d'azote sous forme inorganique ou organique, peut influer sur la teneur des sols en carbone. Une gestion appropriée du fumier peut également procurer des avantages environnementaux et sociaux comme la réduction des odeurs et l'amélioration de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

Une partie de l'azote contenu dans le fumier s'échappe dans l'atmosphère sous forme de NH_3 immédiatement ou pendant l'entreposage, mais la plus grande partie est retournée dans le sol. La teneur en azote des fumiers est très variable; elle dépend du type d'animal, des rations et du type de litière, mais oscille normalement aux alentours de 2 p. 100 du poids sec. Cet azote existe principalement sous deux formes : NH_4^+ et azote organique. La première forme est immédiatement assimilable par les plantes et se comporte dans les sols comme le NH_4^+ des engrais. L'azote organique, toutefois, s'apparente davantage à un engrais à libération lente, étant converti graduellement en NH_4^+ par les microorganismes du sol.

L'azote du fumier utilisé comme engrais présente un risque élevé de formation de N_2O. Comme l'azote y est présent pour une bonne part sous forme de NH_4^+, la nitrification en NO_3^- pourra en produire une certaine quantité. La dénitrification en produira encore plus puisque le fumier, en plus d'être une source d'azote, contient également du carbone assimilable. L'épandage de fortes concentrations d'azote et de carbone assimilable favorise la dénitrification. Dans les cas extrêmes, lorsque les sols ont reçu des quantités excessives de fumier pendant plusieurs années successives, les émissions de N_2O peuvent atteindre jusqu'à 50 kg d'azote par hectare par année, mais elles sont habituellement beaucoup moins importantes.

La quantité de N_2O produite à partir des sols amendés par du fumier dépendra du taux et de la méthode d'épandage, du type de fumier et des propriétés du sol. Selon une étude, le lisier épandu par bandes pourrait produire plus de N_2O que le fumier épandu uniformément à la surface du sol. L'épandage par bandes concentre l'azote et le carbone, créant des conditions plus favorables à la dénitrification.

La gestion du fumier peut également avoir des effets indirects sur les émissions de N_2O. Une forte proportion de l'azote excrété par le bétail - jusqu'à 50 p. 100 - peut être rejetée dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac (NH_3). Cet ammoniac fini par se déposer sur les sols ou sur l'eau, où il se retransforme en NH_4^+, devenant ainsi une source de N_2O au même titre type que l'azote épandu directement.

iii) Résidus de culture et gestion des sols

D'importantes quantités d'azote sont retournées chaque année dans les sols sous forme de résidus de culture (par exemple, paille, racines) et d'autres matières végétales. Dans beaucoup de cas, il s'agit essentiellement du recyclage de l'azote du sol absorbé par les plantes. Toutefois, les légumineuses, grâce à leur capacité d'absorber le N_2 de l'air, peuvent ajouter du « nouvel » azote au sol. Il arrive qu'on cultive certaines plantes (connues sous le nom d'« engrais verts ») uniquement pour les enfouir dans le sol et améliorer sa teneur en azote.

La quantité de N_2O produite par l'utilisation de ces débris végétaux dépend du taux de libération de l'azote. Certains résidus, comme la paille du blé et les tiges de maïs, contiennent souvent moins de 0,5 p. 100 d'azote. Lorsque ces

matières se décomposent, elles ne libèrent que très peu d'azote et peuvent même parfois provoquer une baisse de la teneur du sol en NH_4^+ ou en NO_3^- puisque les microorganismes ont besoin d'une source supplémentaire d'azote pour décomposer les résidus. Par contre, les matières riches en azote comme les résidus de légumineuses ou l'engrais vert peuvent libérer rapidement d'importantes quantités de NH_4^+ (plus tard converti en NO_3^-) pendant leur décomposition. Comme le fumier animal, ces matières constituent également une source de carbone assimilable favorisant la dénitrification et la libération de N_2O. Ainsi, les résidus de luzerne et de soja peuvent produire entre 2 et 4 kg et entre 0,3 et 2 kg d'azote sous forme de N_2O par hectare et par année respectivement.

La gestion des résidus de culture peut également influer sur les émissions de N_2O. Le travail du sol est un outil de gestion important de ces résidus. Normalement, les débris végétaux sont incorporés dans le sol, mais lorsqu'on opte pour des systèmes de culture sans travail du sol ou à travail réduit du sol, ils sont laissés à la surface et leur décomposition est différente. Certaines études indiquent que la culture sans travail du sol pourrait accroître les émissions de N_2O. D'autres concluent au contraire qu'elle contribue à les réduire. En plus de modifier le lieu où les résidus subiront leur décomposition, le travail du sol influe sur l'humidité, la température et l'aération du sol qui toutes influent sur la production de N_2O.

Même en l'absence d'apports récents de résidus végétaux ou d'autres sources d'azote, les sols peuvent produire du N_2O à partir de la décomposition de leur matière organique. Tel est le cas en particulier des sols très riches en azote organique qui peuvent produire du N_2O au taux d'environ 5 kg d'azote par hectare par année. De même, les terres laissées sans récolte pendant un an (jachère) peuvent produire des quantités importantes de N_2O. L'azote organique de ces sols est graduellement décomposé en NH_4^+ et en NO_3^- par les microorganismes, et l'absence de plantes en croissance capables d'absorber cet azote conduit à son accumulation et à la création de conditions favorables à la dénitrification.

iv) Calendrier des épandages et quantités d'azote utilisées

On présume souvent que les émissions de N_2O sont directement proportionnelles à la quantité d'azote épandue. Toutefois, ces émissions risquent de se rapporter davantage à la quantité d'azote inutilisée par les plantes. Si les quantités de NH_4^+ ou de NO_3^- libérées dans le sol correspondent exactement à l'absorption des végétaux, ces formes d'azote ne s'accumuleront pas dans le sol et les émissions de N_2O seront minimales. On parvient toutefois rarement à réaliser un tel synchronisme. Souvent, le NH_4^+ et, surtout, le NO_3^- s'accumulent dans le sol plus rapidement que les plantes ne peuvent les absorber, ce qui conduit à un risque élevé de perte d'azote par lessivage ou dénitrification. Tel est le cas, en particulier, du NO_3^- qui s'accumule après la récolte et qui persiste dans le sol pendant l'automne, l'hiver et, surtout, le printemps suivant, où la dénitrification est particulièrement intense. En conséquence, la détermination exacte du calendrier des épandages d'azote en fonction des besoins des plantes constituera un moyen extrêmement utile de réduction des émissions de N_2O.

1.6.4 Variabilité des émissions de N_2O

Les émissions d'oxyde nitreux sont souvent très sporadiques. Contrairement au CO_2, dont les émissions à partir du sol sont presque constantes, le N_2O est habituellement produit par vagues. Sous les conditions canadiennes, les périodes d'émissions les plus intenses s'observent au début du printemps, à la fonte des neiges. Dans un site du centre de l'Alberta, par exemple, le gros des émissions annuelles de N_2O est survenu pendant une période de 10 jours, à la fin de mars. Ces poussées d'émissions de N_2O observées à la fonte des neiges sont peut-être un reflet des conditions extrêmement favorable à la dénitrification et à la formation du N_2O : degré d'humidité élevé (carence en oxygène), quantités adéquates de NO_3^- et de C assimilable, et température favorable. Ces émissions soudaines de N_2O sont peut-être également le reflet de la disparition rapide de la couche de sol gelé ou de glace qui retenait le N_2O prisonnier. Même si les vagues d'émissions printanières sont souvent les plus importantes, d'autres pourront survenir plus tard à la suite de précipitations intenses qui produiront des sols gorgés d'eau, en particulier dans les dépressions. On pourra également observer des éruptions de N_2O immédiatement après l'épandage d'engrais azotés à cause de la disponibilité soudaine d'azote.

L'intensité des émissions de N_2O varie non seulement dans le temps, mais également dans l'espace. Cette variabilité découle en partie des différences qui existent dans la teneur en azote et en humidité (et donc en oxygène) des sols

d'un endroit à l'autre. On pourra observer à tout moment une libération minimale de N_2O de la plupart des endroits d'un champ, mais également des zones d'émissions intenses là où les conditions sont particulièrement propices à la production de N_2O.

La tendance du N_2O à être surtout produit dans les couches plus profondes du sol vient encore compliquer le problème. Les émissions de N_2O dépendent de son taux de diffusion jusqu'à la surface, lequel dépend à son tour de la porosité du sol et de la présence de glace ou d'eau à la surface. Le N_2O emprisonné peut également se dissoudre dans l'eau du sol ou être converti en N_2 ou en NO_3^- par les microorganismes, ce qui fait que le N_2O formé en profondeur ne sera pas entièrement libéré dans l'atmosphère. En conséquence, les émissions de N_2O du sol dépendent non seulement de son taux de formation, mais également de sa vitesse de diffusion et de sa conversion en d'autres formes d'azote.

On avait supposé jusqu'à récemment que la formation de N_2O serait très limitée pendant l'hiver à cause de la basse température des sols. Cependant, la situation risque d'être différente aux endroits où la couche de neige isole le sol. Dans certains régions de l'Est du Canada, par exemple, le sol est recouvert d'un épais manteau de neige pendant des périodes pouvant atteindre jusqu'à cinq mois par année, et le sol est ainsi maintenu à des températures supérieures au point de congélation. La production de N_2O peut ainsi se poursuivre tout l'hiver, et ce gaz peut être libéré à travers la neige poreuse. Dans un site situé près de Québec, un champ d'orge amendé, labouré l'automne précédent, a rejeté jusqu'à 5 kg d'azote sous forme de N_2O pendant l'hiver et le printemps, soit entre 5 et 10 p. 100 de l'azote ajouté sous forme d'engrais. Le même champ n'a rejeté que 2 kg d'azote sous forme de N_2O pendant la saison de croissance.

La nature sporadique et imprévisible des émissions de N_2O complique singulièrement l'estimation de ces émissions. Ainsi, les estimations actuelles des émissions de N_2O sont probablement moins fiables que celles portant sur les autres gaz à effet de serre.

1.6.5 Estimations des émissions de N_2O à l'échelle nationale

L'estimation des émissions d'oxyde nitreux pour l'ensemble des fermes canadiennes ne saurait être que provisoire, compte tenu de nos connaissances limitées de la formation et de la libération du N_2O. Les données actuelles se fondent sur des équations simples, élaborées par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, 1996) qui calculent les émissions de N_2O provenant de trois sources : émissions directes à partir du sol; émissions directes dues à la production du bétail; émissions indirectes provenant des exploitations agricoles.

Les émissions directes du sol comprennent le N_2O dérivé des engrais, du fumier épandu sur les terres, des légumineuses et des résidus de culture. Elles ont été calculées à partir des teneurs totales en azote de ces sources, fondées sur les statistiques nationales, en présumant qu'une proportion précise d'azote est libérée sous forme de N_2O (environ 1 p. 100, selon la source). On a également tenu compte d'estimations des rejets de N_2O provenant des sols organiques, même si les quantités en cause sont très petites. Selon ces calculs, les émissions directes de N_2O provenant des sols agricoles du Canada en 1996 auraient atteint 0,070 Mt (Monteverde *et al.*, 1997). La moyenne calculée pour la superficie totale des terres cultivées du Canada donnerait environ 1 kg d'azote par hectare par année. Les taux d'émissions estimés varient toutefois largement d'une région à l'autre.

On a calculé les émissions directes dues au bétail en estimant la quantité d'azote contenue dans le fumier et en présumant qu'une portion précise de cet azote est libérée sous forme de N_2O. On a présumé que la fraction de l'azote converti en N_2O atteignait 2 p. 100 pour les animaux au pâturage, et 0,1 à 2 p. 100 pour les autres, selon la méthode de gestion des déchets utilisée. En vertu de ce calcul, les émissions directes de N_2O dues au bétail ont été estimées à 0,024 Mt en 1996 (Monteverde *et al.*, 1997)..

Les émissions indirectes ont été calculées à partir d'estimations de l'azote atmosphérique (p. ex., NH_3) déposé sur le sol, de l'azote lessivé à partir des champs cultivés et de la production d'eaux usées. Selon ces calculs, l'azote lessivé est le plus important puisqu'il représente plus de 80 p. 100 des quelque 0,038 Mt de N_2O libérées des sources indirectes en 1996 (Monteverde *et al.*, 1997). Cette estimation présume qu'une proportion de 30 p. 100 de l'azote épandu sous forme d'engrais ou de fumier a été entraînée dans les eaux souterraines.

Les émissions totales de N_2O provenant des activités agricoles au Canada, en 1996, ont été estimées selon l'approche du GIEC à environ 0,132 Mt (Monteverde *et al.*, 1997). Les émissions directes à partir du sol représentaient environ la moitié de ce total.

Les tendances affichées par les émissions de N_2O avec le temps risquent d'être aussi importantes que la quantité totale de ces émissions. Selon les estimations actuelles, les émissions de N_2O ont augmenté régulièrement depuis 1981, et ont augmenté de 20 p. 100 entre 1991 et 1996. Cette hausse a été attribuée en grande partie à une augmentation de l'azote ajouté aux terres sous forme d'engrais et de fumier. Compte tenu des augmentations prévues du nombre des animaux d'élevage et des rendements supérieurs des récoltes attendus pour l'avenir, les émissions de N_2O pourraient augmenter encore, à moins d'une amélioration de la gestion de l'azote.

1.7 Résumé de la part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre

Les données compilées dans le tableau ci-dessous devraient être considérées comme « provisoires », puisque les pratiques de comptabilité fondées sur les lignes directrices du GIEC évoluent constamment. Par exemple, on a amélioré les lignes directrices du GIEC de 1996 pour l'Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre par rapport à celles de 1995, en modifiant la méthodologie et les données par défaut utilisées pour l'estimation des émissions d'oxyde nitreux provenant des sols agricoles et de la gestion du fumier. La nouvelle méthode utilise des sources plus nombreuses de N_2O provenant des activités agricoles et tient compte de l'épandage d'engrais azotés sur les sols et de l'absorption de l'azote par les récoltes. Elle propose une description plus complète des émissions de N_2O provenant des activités liées à l'agriculture en tenant compte de sources de N_2O jusque-là ignorées.

Les estimations actuelles ne sont pas dépourvues d'incertitudes. Les phénomènes qui influent sur les émissions sont toujours imparfaitement connus. En conséquence, chaque estimation est exposée à des erreurs. Parmi les trois gaz examinés dans le présent document, le N_2O est celui qui présente le plus haut degré d'incertitude; ses estimations pourraient s'écarter de la réalité dans une proportion de 50 p. 100 ou plus. Malgré cette incertitude, les valeurs actuelles représentent le premier ensemble complet d'estimations des émissions de gaz à effet de serre provenant des activités agricoles canadiennes et fournissent un point de référence pour l'examen des tendances.

Résumé de la part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre (Mt) selon les lignes directrices du GIEC de 1996

	Émissions (Poids moléculaire total)		Émissions (Équivalent CO_2)	
	1991	**1996**	**1991**	**1996**
CO_2	5	1,7	5	1,7
CH_4	0,95	1,1	20	23
NO_2	0,11	0,13	34	40
Total	6,05	2,9	59	64

Source : Inventaire national canadien

2. Facteurs influant sur la croissance des émissions et les possibilités de réduction

2.1 Croissance du secteur de l'agriculture et de l'élevage

2.1.1 Données d'AAC sur les tendances des prix des produits agricoles à moyen terme

La demande croissante projetée pour la viande dans les pays en développement entraîne une croissance plus forte que prévue de la demande pour les grains de provende par rapport à la demande pour les céréales vivrières. En conséquence, les données d'AAC portant sur les tendances à moyen terme des prix des céréales indiquent une croissance plus forte pour les céréales secondaires que pour le blé.

Le marché international des céréales est en cours de réaménagement pour répondre à la hausse brutale des prix observée pour la campagne agricole de 1995-1996. Au cours de cette campagne, le manque à produire observé dans un certain nombre de régions productrices clés a provoqué une hausse sensible des prix des produits. Ce phénomène a entraîné une hausse de la production mondiale, et un rationnement de la consommation. Même si les prix des céréales ont déjà sensiblement chuté, AAC s'attend à de nouvelles baisses modérées des prix pour la campagne 1998-1999, alors que la croissance de l'offre continuera de dépasser la croissance de la demande.

Après la campagne 1998-1999, les prévisions à moyen terme d'AAC présument d'une accélération de la croissance de la demande qui entraînera une hausse modeste mais soutenue des prix à moyen terme. Cette tendance à la hausse des prix régie par la demande diffère largement de la situation observée en 1995-1996, alors que des pénuries d'approvisionnement ont fait monter en flèche les prix des produits. Les prix nominaux restent au-dessus de ceux pratiqués au début des années 1990, réduisant ainsi la demande pour des subventions à l'exportation. Toutefois, les prix réels des céréales continuent de suivre leur tendance à la baisse, à mesure que la technologie et une efficacité croissante continuent de pousser vers le haut la courbe de l'offre.

Les prix des oléagineux ont été élevés au cours des récentes années à cause de la forte croissance de la demande. Le facteur clé, en la matière, est la perspective d'une hausse de la consommation dans les pays en développement, où la consommation d'huile par habitant est actuellement faible comparativement à celle des pays développés. Les économies asiatiques, où le revenu par habitant et les taux de croissance sont élevés, sont les principales responsables de cette croissance.

Les prévisions à moyen terme d'AAC présument d'un renforcement des prix de l'huile de soja par rapport à ceux relativement bas pratiqués en 1996-1997. Une demande mondiale croissante pour l'huile végétale, prévue à moyen terme, pousse les prix dans la partie supérieure de la fourchette atteinte en 1993 et 1994. Par rapport au sommet atteint en 1996-1997, les prix du tourteau de soja ont baissé considérablement en 1997-1998, mais ils sont demeurés au-dessus des niveaux atteints au début des années 90. La demande croissante d'aliments du bétail continue à maintenir les prix du tourteau de soja au-dessus des valeurs de base.

Compte tenu de la baisse importante des prix du tourteau, les prévisions à moyen terme d'AAC présument d'une baisse sensible des prix du soja par rapport aux niveaux atteints en 1996-1997, mais d'un maintien de ces prix bien au-dessus de ceux pratiqués au début des années 90. La demande mondiale croissante pour l'huile végétale et le tourteau continue de soutenir les prix des oléagineux à des niveaux suffisamment élevés pour justifier une augmentation des superficies cultivées en céréales.

Au Canada, il sera difficile d'augmenter les superficies cultivées en céréales sans réduire les superficies en jachère ou remplacer une partie de la production d'oléagineux et de cultures spéciales. En conséquence, la croissance future de la production céréalière canadienne découlera en grande partie d'une amélioration des rendements. La réduction des superficies en jachère présente certaines possibilités, mais les besoins en matière de rotation des cultures limitent cette option. On présume que la superficie totale des terres en jachère sera réduite à 5,3 Mha d'ici à 2007 (AAC, 1998).

Les prix du blé tendre et du blé dur restent fermes par rapport à ceux pratiqués au début des années 90. La situation extrêmement difficile qu'a vécue le marché du blé dur en 1997 devrait être résolue en 1998, les fourchettes des prix revenant à des niveaux plus normaux. Alors que les prix nominaux américains pour 2007 oscilleront dans la même fourchette que la moyenne de 1992-1996, les prix canadiens seront légèrement supérieurs, en présumant d'un marché exempt de subventions à l'exportation. Les prix relativement élevés du blé tendre et du blé dur ramènent ces catégories de céréales aux niveaux moyens enregistrés pour 1992-1996. Les exportations de blé en 2007 dépasseront d'environ 9 p. 100 les niveaux de 1992-1996 (AAC, 1998). La croissance du secteur canadien des minoteries et des autres utilisations alimentaires entraîne une augmentation des exportations de produits du blé.

Les prévisions à moyen terme d'AAC présument d'un maintien des prix de l'orge et du maïs aux niveaux actuels par rapport aux données de base. Par suite de l'abrogation du *Export Enhancement Program* (EEP) des États-Unis, les prix de l'orge canadienne atteignent un niveau supérieur de 6 p. 100 à ceux pratiqués pendant la période 1992-1996 (AAC, 1998). À ces niveaux, les prix favorisent la mise en culture de superficies importantes en maïs et en orge, maintenant ces dernières à des niveaux supérieurs à ceux observés de 1992 à 1996. Les exportations d'orge subissent une chute importante puisqu'une part plus grande de la production est consommée par une production animale en expansion, dans l'Ouest du Canada. Les exportations d'orge au-delà des données de base se composent principalement d'orge brassicole.

Comme le canola présente une teneur plus élevée en huile, il ne subit pas une baisse des prix aussi forte que celle observée dans le cas du soja par suite d'une baisse sensible des prix du tourteau. Les prix du tourteau et de l'huile relativement bons contribuent à maintenir les prix du canola dans une fourchette comparable à la moyenne observée entre 1992 et 1996. Les prix élevés des céréales limitent l'expansion du canola, à moyen terme, par rapport aux niveaux actuels. Les superficies cultivées en 2007 seront légèrement supérieures à 5 Mha, en hausse de 17 p. 100 par rapport à la moyenne de 1992-1996, mais inférieures aux sommets atteints en 1994 et en 1995 (AAC, 1998).

Les prévisions à moyen terme concernant les exportations de semences se comparent à la moyenne de 1992-1996. Le secteur canadien de la transformation augmente sa consommation de plus de 50 p. 100 par rapport aux niveaux atteints en 1992-1996, tant par une utilisation plus efficace de ses capacités actuelles que par leur expansion (AAC, 1998). En conséquence, on prévoit à moyen terme une augmentation des exportations de tourteau et d'huile. Les prix relativement élevés des céréales et des oléagineux limitent une expansion ultérieure des cultures spéciales.

2.1.2 Tendances à moyen terme des prix de la viande

2.1.2.1 Marché international des viandes rouges

AAC prévoit qu'à moyen terme, une demande forte, venant en particulier des économies asiatiques, sera comblée par une hausse des exportations australiennes et nord-américaines de viandes. Cette croissance de la demande soutient la demande pour d'autres produits agricoles (aliments du bétail, tourteau riche en protéines, etc.) et constitue l'une des principales caractéristiques de la tendance à moyen terme.

Dans la plupart des pays développés, la consommation de viandes rouges stagne ou subit un déclin à long terme. Le Japon et la Corée, dont la consommation actuelle est relativement faible, font exception à cette règle. On prévoit qu'à moyen terme, la demande de boeuf dans les pays développés restera faible à cause d'une évolution des préférences à long terme et, dans une moindre mesure, des craintes des consommateurs concernant l'innocuité des aliments. Le rétablissement anticipé de la demande de boeuf aux États-Unis et les restrictions imposées aux subventions à l'exportation conduisent à prévoir une baisse des exportations américaines de boeuf.

AAC prévoit qu'à moyen terme, les prix du boeuf augmenteront par rapport à ceux des autres types de viandes sur les marchés mondiaux. Lorsque la production nord-américaine de bovins était au sommet de son cycle, les prix étaient faibles, mais ils ont recommencé à augmenter en 1997 et devraient poursuivre cette remontée jusqu'en 2001. Par la suite, ils reprendront leur tendance à la baisse à mesure que le cycle de production s'approchera de son prochain sommet.

En 1996, les prix du porc étaient au sommet du cycle. Ces prix ont encore été renforcés en 1997 par suite des problèmes d'approvisionnement éprouvés par les principaux pays exportateurs (peste porcine aux Pays-Bas et fièvre aphteuse à Taïwan). À long terme, les prix du porc devraient baisser à cause de la hausse constante de la productivité, notamment dans le contexte de la restructuration actuelle de l'industrie aux États-Unis et au Canada.

Les États-Unis, dont l'influence est prépondérante sur les prix du porc canadien, jouent un rôle de plus en plus actif sur les marchés mondiaux du porc. L'importance croissante des vastes centres américains de production et de transformation du porc devrait atténuer les variations cycliques futures des prix à la production. Le recours à des contrats à long terme devient plus fréquent, et atténue la réaction de l'offre aux fluctuations des prix à court terme.

2.1.2.2 Marché canadien des viandes rouges

Les ventes canadiennes de bovins sont parvenues au sommet de leur cycle et devraient maintenant baisser pendant quelques années alors qu'on s'emploie à reconstituer les troupeaux. La prochaine tendance à la hausse devrait commencer à se manifester vers l'an 2000. L'abattage a connu un déclin au Canada au cours des années 1980 et au début des années 1990, mais il a récemment recommencé à augmenter. Selon les prévisions à moyen terme, les abattages devraient continuer d'augmenter au Canada à mesure que les abattoirs augmentent leur capacité. En conséquence, les exportations de bovins sur pied aux États-Unis diminueront. La conjugaison d'une augmentation des abattages et d'une consommation stable de boeuf a poussé les exportations à la hausse. Le Canada est devenu un exportateur net de boeuf pour la première fois en 1996, et il continuera d'accroître ses exportations à moyen terme.

À l'heure actuelle, le boeuf canadien est exporté principalement aux États-Unis. Le Canada est un exportateur net important de boeuf de faible qualité aux États-Unis, et un importateur net de boeuf de haute qualité en provenance de ce pays. Ce rapport est inversé sur les marchés mondiaux où le Canada est un exportateur net de boeuf de haute qualité (principalement au Japon) et un importateur net de boeuf de faible qualité (provenant surtout de Nouvelle-Zélande et d'Australie). Les tendances indiquent une augmentation des exportations de boeuf de faible qualité vers les États-Unis et une augmentation des exportations de boeuf de haute qualité dans le reste du monde.

Le secteur canadien du porc est en pleine évolution. On prévoit que les producteurs de porc procéderont à des ajustements importants qui leur permettront de rester concurrentiels, face à une baisse des prix mondiaux du porc. La production de porc permet de prévoir une croissance forte à long terme, en particulier dans l'Ouest où la croissance anticipée des investissements commence déjà à se faire sentir. Toutefois, les problèmes liés aux incidences environnementales restent entiers.

La restructuration de l'industrie canadienne de l'abattage, combinée à l'expansion des capacités de transformation, devrait conduire à une hausse constante des exportations de porc à moyen terme. Les exportations de porcs sur pied à destination des États-Unis devraient diminuer à mesure qu'on augmente l'abattage au Canada. Comme dans le cas du boeuf, le gros des exportations nettes actuelles de porc canadien va aux États-Unis (environ 60 p. 100 en 1996) (AAC, 1998). On prévoit que la croissance projetée des exportations canadiennes de porc sera partagée entre les États-Unis et les pays asiatiques, et notamment le Japon et la Corée du Sud.

2.2 Utilisation d'engrais

Les engrais sont des facteurs de production essentiels qui, lorsqu'ils sont convenablement utilisés, contribuent à maintenir la santé des sols, à optimiser les rendements et à accroître la teneur en carbone des sols. Leurs effets nuisibles sur l'environnement découlent d'une utilisation excessive (inefficace) par rapport aux besoins des plantes, laquelle conduit à l'accumulation des matières nutritives dans le sol et, tôt ou tard, à la pollution de l'environnement. L'azote et le phosphore, qui peuvent contaminer l'eau, conduire à l'eutrophisation ou à d'autres formes de pollution ou d'incidences sur la vie aquatique suscitent des préoccupations particulières. Par ailleurs, la volatilisation des engrais excédentaires sous forme d'ammoniac et d'oxyde nitreux peut conduire à des précipitations acides qui endommagent les écosystèmes et nuisent à la croissance des plantes. Ces gaz contribuent également au changement climatique. Certains facteurs comme les conditions du sol et du climat, les méthodes et les calendriers d'épandage et les méthodes de manutention et d'entreposage du fumier peuvent aggraver ou atténuer

les incidences environnementales. À l'inverse, une sous-utilisation des engrais peut également conduire à une baisse de la fertilité résiduelle des sols.

Dans la région des Prairies, l'utilisation des engrais s'est améliorée entre 1983 et 1992, mais cette efficacité s'est accompagnée de fluctuations importantes d'une année à l'autre. Le taux annuel d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation des engrais au cours de cette période était de 2,3 p. 100 (Narayanan, 1995). Vue sous l'angle de l'environnement, cette tendance peut s'interpréter comme suit. Premièrement, elle concerne uniquement l'utilisation des engrais chimiques. À cet égard, la tendance à une efficacité croissante de l'utilisation des engrais signifie que dans la région des Prairies, l'augmentation de la production agricole a dépassé l'accroissement de l'utilisation d'engrais chimiques. Cette évolution va donc dans le bon sens et est favorable à une réduction des risques de contamination de l'eau par les matières nutritives. Compte tenu de la sous-fertilisation historique des sols des Prairies et de la dépendance des producteurs de cette région vis-à-vis des matières organiques, cette tendance pourrait également signifier une baisse du taux d'augmentation de l'utilisation d'engrais chimiques, aux dépens des matières nutritives et organiques résiduelles du sol, une conséquence nettement indésirable du point de vue de la santé des sols. Une utilisation améliorée des engrais réduit la quantité d'azote excédentaire utilisée pour l'agriculture, et réduit de ce fait la quantité d'oxyde nitreux rejetée dans l'air par suite de la nitrification.

La tendance marquée par l'efficacité d'utilisation des engrais à l'échelle nationale est très semblable à celle observée pour la région des Prairies, quoique moins prononcée, pour la période écoulée de 1983 à 1992. Le taux d'amélioration a été estimé à 1,1 p. 100 par année, soit moins de la moitié de celui enregistré pour les Prairies (Narayanan, 1995).

2.3 Reconnaissance du rôle de puits de carbone joué par les sols, d'ici à l'an 2000

2.3.1 Prise en compte des puits dans le Protocole de Kyoto

À Kyoto, le Canada a défendu l'idée d'une prise en compte des changements apportés par l'homme à l'utilisation des terres et des forêts pour en faire des puits de carbone. Cet argument a été admis dans le cas des projets de boisement et de reboisement qui permettent de fixer le carbone atmosphérique, et on en tiendra compte pour la première période d'engagement. Cependant, jusqu'à nouvel ordre, les sols continueront d'être considérés uniquement comme des sources de CO_2. En conséquence, les calculs réalisés par le Canada à l'échelle nationale concernant les émissions de CO_2 devront tenir compte des émissions provenant des sols, si ces derniers constituent une source nette, comme on le croyait en 1990. On pourra tenir compte des réductions de ces émissions pour la réalisation des objectifs sectoriels, mais uniquement jusqu'au point où les sols cessent d'être une source de CO_2.

Les sols ont été exclus des puits de carbone principalement à cause de l'opposition manifestée par les Européens, mais également parce que aucun pays ne disposait de données réellement pertinentes sur les émissions nettes provenant des sols agricoles. Le Canada semble être le seul pays à avoir jamais tenté d'obtenir des données nationales à ce sujet. Il est possible que les sols puissent être ajoutés à la première période d'engagement au cours des deux ou trois prochaines années, mais seulement si nous sommes certains de nos propres données et si nous pouvons obtenir l'accord d'un nombre suffisant de pays à ce sujet. Ainsi, jusqu'à nouvel ordre, tel est l'état du système. Le Canada doit inclure les émissions de CO_2 provenant des sols agricoles dans les mesures de ses émissions pour 1990. Nous pouvons également réclamer des crédits pour toute réduction des émissions provenant des sols, mais uniquement jusqu'au point où ces derniers cessent d'être une source. Si les sols deviennent des puits de carbone, aucun crédit supplémentaire ne nous sera accordé.

2.3.2 Utilisation des sols canadiens en guise de puits de carbone

En 1996, la superficie des terres consacrées aux cultures annuelles au Canada atteignait environ 45,5 millions d'hectares. Presque 86 p. 100 de ces terres se trouvaient dans les quatre provinces de l'Ouest, et 12,9 p. 100 en Ontario et au Québec. Environ 8 millions d'hectares de terres cultivables étaient en jachère en 1990. Les techniques culturales classiques comprennent le travail du sol avant l'ensemencement, l'amendement et la pulvérisation uniformes des champs et le travail du sol après la récolte. Le travail du sol, en particulier, favorise les émissions de CO_2 du sol dans l'atmosphère. En 1996, la culture sans travail du sol était pratiquée sur environ 16 p. 100 des

terres arables au Canada, et cette tendance devrait s'accentuer. Bruce *et al.* (1998) ont estimé que l'adoption de « meilleures pratiques de gestion » sur les terres agricoles pourrait, en moyenne, se solder par des gains initiaux d'environ 0,73 tonne de CO_2 par hectare par année. Mais, selon le sol et le climat, le taux de séquestration pourrait varier considérablement

Il existe au Canada une superficie importante de prairies à graminées vivaces, qui atteignait environ 15,5 millions d'hectares en 1990. La plupart de ces terres font l'objet d'une gestion extensive et d'un pâturage saisonnier. En cas de surpâturage, ces terres verront leur aptitude à retenir le carbone sensiblement réduite. Le sous-pâturage réduit également l'aptitude des graminées à maximiser la séquestration du carbone, puisque la croissance végétative pendant la belle saison est réduite.

La réserve de carbone organique du sol dans les terres servant aux cultures annuelles au Canada est estimée à environ 6 milliards de tonnes, sur une profondeur de un mètre. Historiquement, depuis que ces terres sont cultivées, elles ont perdu une quantité de carbone organique estimée à 1 milliard de tonnes (Bruce *et al.*, 1998). Ces pertes sont survenues en majeure partie au cours des vingt dernières années de culture. Le rythme de ces pertes s'est ralenti après la disparition de la portion du carbone organique facilement décomposable, et à mesure que les agriculteurs adoptaient des techniques améliorées de gestion des sols.

La réduction de 15 à 30 p. 100 de la teneur originale des sols en carbone depuis les débuts de l'agriculture est survenue au cours des vingt premières années de culture (Acton et Gregorich, 1995). Smith *et al.* (1997) ont estimé, à partir des prévisions du modèles CENTURY, que les émissions annuelles moyennes de CO_2 à partir des terres cultivées du Canada étaient passées de 10 millions de tonnes en 1970 à environ 7 millions de tonnes en 1990. Cela signifie que le carbone du sol tendait à un nouvel état d'équilibre, compte tenu des superficies plus réduites de terres nouvelles mises en culture, d'une réduction des terres mises en jachère, d'un recours plus répandu aux cultures sans travail du sol et d'une utilisation plus grande d'engrais dans les provinces des Prairies.

Smith *et al.* ont prédit en 1997 que les sols agricoles canadiens passeraient de leur état actuel de sources nettes de CO_2 à celui de puits nets de 1,8 million de tonnes de CO_2 d'ici à 2010 et ce, sans aucun changement majeur dans les pratiques agricoles. Ils ont prédit que la séquestration du carbone serait la plus hâtive et la plus importante en Saskatchewan. Comme cette province est de loin celle qui possède la plus grande proportion de terres agricoles annuelles du Canada, c'est elle qui influera le plus sur l'effet général de séquestration du carbone dans les terres cultivées du Canada.

D'autres ont indiqué que les sols pourraient devenir un puits net de carbone plus important que ne l'ont prédit Smith *et al.* (1997) si les agriculteurs pouvaient se mobiliser et adopter plus rapidement les techniques de gestion des terres. Bruce *et al.* (1998) estiment qu'avec l'expérience acquise avec l'adoption des pratiques de culture sans travail du sol et des autres pratiques semblables, la conservation du carbone pourrait être adoptée sur près de 40 p. 100 des terres cultivées d'ici vingt ans. Si l'on atteignait cet objectif, la séquestration totale de carbone par les terres cultivées au cours des 20 prochaines années serait de 160 millions de tonnes de CO_2. Les possibilités sont plus grandes dans les terres cultivées, mais les prairies à graminées pourraient également séquestrer au total 18,6 millions de tonnes de CO_2 sur 20 ans si 40 p. 100 (1,7 million d'hectares) d'entre elles étaient soumises à des techniques de conservation. Le taux de séquestration du carbone dans des prairies à graminées bien gérées est estimé à environ 0,73 tonne de dioxyde de carbone par hectare par année (Bruce *et al.*, 1998). Bruce *et al.* (1998) estiment que les gains pourraient être beaucoup plus importants avec des mesures d'incitation politiques et économiques pertinentes.

Selon une autre estimation nationale du Comité national de l'environnement agricole, les agriculteurs canadiens pourraient retenir dans leurs terres 11 millions de tonnes de CO_2 de plus, en l'an 2000, que les 4 millions de tonnes mesurées en 1990, l'année de référence (NAEC, 1994) si l'on utilise le chiffre de 7 millions de tonnes de CO_2 en 1990 (Smith *et al.*, 1997). On prévoyait en outre que d'ici à 2005, environ 16 millions de tonnes de CO_2 de plus seraient retenues dans les terres cultivées canadiennes. Ces estimations tiennent compte de l'adoption des diverses techniques de gestion des terres susmentionnées (p. ex. travail réduit du sol, élimination des jachères, culture de plantes fourragères vivaces en plus grande quantité, application plus importante d'éléments nutritifs sous forme d'engrais ou de fumier, etc.) et reconnaissent le rôle important joué par l'amélioration des plantes et l'accroissement des rendements des récoltes. On relève également (NAEC, 1994) que si un nouvel état d'équilibre risque d'être

atteint avec l'adoption totale des techniques de gestion connues aujourd'hui, de nouvelles techniques seront sans doute mises au point au cours des 20 prochaines années et permettront aux agriculteurs d'accroître encore davantage la part du carbone retenue dans les sols.

Il convient de s'interroger sur les possibilités de séquestration du carbone dans les terres agricoles qui sont envisageables au cours des deux prochaines décennies. La réponse à cette question dépendra du nombre d'agriculteurs et d'éleveurs qui adopteront les techniques propres à favoriser cette séquestration.

Les agriculteurs de la Saskatchewan ont déjà adopté la culture sans travail du sol et, en 1996, 22 p. 100 des terres cultivées n'étaient pas labourées. Le taux d'adoption de cette technique au cours des quatre dernières années a atteint en moyenne entre 60 000 et 70 000 hectares par année. Si cette tendance se maintient pendant encore 10 ans, on peut s'attendre à des gains supplémentaires importants. Les agriculteurs ontariens ont adopté la culture sans travail du sol dans une proportion semblable (20 p. 100) (CNEA, 1994). Les agriculteurs manitobains (9 p. 100) et albertains (10 p. 100) font également des progrès intéressants dans cette voie .

L'adoption des nouvelles méthodes par les agriculteurs suit en général une courbe de croissance sigmoïde. Le taux d'adoption de la culture sans travail du sol s'approche actuellement de la portion abrupte de cette courbe et le taux d'adoption augmentera donc vraisemblablement à mesure que cette méthode deviendra plus courante.

Pour la période de 2008 à 2012, on estime les gains annuels de carbone dans le sol à 1,8 million de tonnes de CO_2, soit 11 millions de tonnes sans mesures d'incitation et 25,7 millions de tonnes avec des mesures d'incitation. Pour la période de 2013 à 2017, les gains annuels pourraient être de 12,9 ou de 34,6 millions de tonnes par année, selon les mesures d'incitation instaurées. Les divergences observées dans les estimations proviennent de l'incertitude relative aux pratiques futures de gestion du sol et aux incidences de ces pratiques sur le carbone du sol. Toutefois, comme on s'entend sur le fait que les sols peuvent devenir un puits de carbone, il est justifié d'établir un système pouvant mesure les gains futurs.

2.4 Secteur de la transformation des aliments et des boissons

2.4.1 Problèmes environnementaux liés à la transformation des aliments et des boissons

L'élimination des déchets d'emballage, la qualité des effluents et des émissions rejetés dans l'atmosphère et dans l'eau, et l'utilisation efficace des facteurs de production sont les principaux problèmes environnementaux liés à l'industrie de la transformation des aliments et des boissons. Les effluents et les émissions dus aux activités de cette industrie sont réglementés par des législations fédérales, provinciales, territoriales et municipales. Les stratégies visant à éviter et à limiter la pollution comprennent les technologies de traitement des effluents et l'utilisation de méthodes de fabrication fondées sur une « technologie propre ». Le volume des déchets d'emballage est réduit par l'adoption de nouveaux matériaux, la modification des techniques d'emballage et les efforts des consommateurs en matière de recyclage et de réutilisation. Certaines considérations de nature environnementale et économique influent également sur les types de facteurs de production utilisés (par exemple, restrictions à l'égard de l'utilisation du bromure de méthyle (une substance appauvrissant la couche d'ozone) pour la fumigation, et les mesures de nature économique favorisant une utilisation plus efficace de ressources comme l'énergie et l'eau.

2.4.2 Utilisation de l'énergie.

L'industrie des aliments et des boissons a réussi à améliorer son efficacité énergétique entre 1990 et 1992. L'intensité énergétique (quantité d'énergie consommée par dollar de produits transportés) a diminué au cours de cette période de 10 p. 100 et 25 p. 100 pour les secteurs des aliments et des boissons respectivement. Cette amélioration peut être attribuée aux efforts de conservation de l'énergie ainsi qu'à la croissance des ventes de produits.

2.4.3 Utilisation de l'eau et rejets d'effluents

Entre 1981 et 1991, l'industrie des aliments et des boissons a diminué légèrement sa consommation totale d'eau, malgré une croissance générale du volume des produits expédiés.

Les rejets d'effluents en milieux aquatiques sont réglementés par les gouvernements provinciaux et territoriaux ou par les administrations municipales. Les installations qui rejettent leurs effluents dans un réseau d'égout municipal ou dans un cours d'eau ont habituellement besoin d'un permis et peuvent être soumises à des contrôles. En cas de rejets dépassant les limites autorisées, des amendes peuvent être imposées, et augmenter sensiblement les coûts d'exploitation des transformateurs d'aliments et de boissons. Les paramètres clés habituellement mesurés sont la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension, les graisses et les huiles et l'azote total. Le pH constitue une préoccupation supplémentaire pour certains secteurs. Les secteurs les plus touchés par les exigences en matière de réduction de la pollution de l'eau sont ceux des transformateurs de viandes rouges, de volaille, de poisson et de fruits et légumes. Toutefois, les données qui pourraient nous permettre d'illustrer les tendances nationales en matière de rejets de telles substances ou de respect de la réglementation sont limitées.

2.4.4 Émissions dans l'atmosphère

Comme les effluents déversés dans l'eau, les émissions dans l'atmosphère sont réglementées par les gouvernements provinciaux et territoriaux ou par les administrations municipales. Des permis sont délivrés pour limiter les émissions de particules et de gaz visibles, les principaux paramètres. Les substances qui appauvrissent la couche d'ozone comme les chlorofluorocarbures (CFC) servent à la réfrigération dans les secteurs de la transformation des aliments et des boissons. L'utilisation de ces substances est réglementée en vertu d'un accord international (le Protocole de Montréal) ainsi que par la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Comme elle dépend énormément de la réfrigération, l'industrie alimentaire s'intéresse de très près à l'application du Protocole de Montréal. Le Canada, qui fait partie des quelque 25 pays signataires du Protocole, a accepté d'éliminer graduellement toutes les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, y compris de nombreux fluides frigorigènes. Les CFC ne sont plus fabriqués et les HCFC seront éliminés d'ici à 2020. Ceci signifie que les nouveaux équipements de réfrigération contiendront des fluides frigorigènes différents et moins nuisibles, et qu'on devra remplacer les fluides frigorigènes des équipements plus anciens. Les transformateurs, les distributeurs et les détaillants d'aliments, ainsi que les exploitants de services alimentaires doivent examiner les options envisageables et décider, le cas échéant, du choix des fluides frigorigènes appropriés ou des produits et équipements de remplacement afin de se conformer à la nouvelle réglementation. Les détaillants n'utilisent plus d'aérosol à base de CFC ni de barquettes en polystyrène contenant des CFC.

Les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas réglementées (exception faite des CFC, qui font également partie de cette catégorie). L'objectif national de stabilisation des émissions de gaz à effet de serre est poursuivi par la voie de mesures volontaires. Les réductions observées des émissions de CO_2 ont été réalisées dans les secteurs de la transformation des aliments et des boissons principalement par les réductions dans l'utilisation de l'énergie mentionnées précédemment.

2.4.5 Technologies émergentes

Voici quelques exemples de technologies émergentes visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à solutionner d'autres problèmes environnementaux de la transformation des aliments :

- méthodes de réduction des déchets de transformation et d'emballage (p. ex., étude des solutions de rechange pour l'ensemble du cycle de vie);
- technologies de traitement des déchets;
- nouveaux fluides frigorigènes;
- caractérisation des sous-produits, des déchets et des émissions provenant de toutes les étapes de la production et de la transformation des aliments;
- moyens de réduire les quantités de sous-produits générés (p. ex., biotransformation des sous-produits et des déchets en aliments comestibles pour les humains et le bétail, en combustibles et en substances chimiques utilisables par l'industrie);

- méthodes analytiques rapides pour les produits bruts ou finis et pour les sous-produits, permettant de déterminer la présence de substances souhaitables ou indésirables.

2.5 Lacunes dans les connaissances et domaines de recherches et d'analyses futures

- Adaptations aux incidences du changement climatique et domaines de recherches et d'analyses futures;
- données provenant du secteur de la transformation des aliments;
- amélioration de l'exactitude des estimations des émissions;
- mise au point et utilisation de méthodes de mesure permettant d'obtenir des données plus complètes aux fins de l'amélioration de la fiabilité des estimations d'émissions;
- efficacité et coût des pratiques de gestion permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

3. Examen de l'expérience acquise et des moyens utilisés actuellement pour lutter contre les gaz à effet de serre

3.1 Réduction des émissions de CO_2

L'agriculture est une activité liée à la gestion du carbone. Sur chaque hectare de terres cultivées, des milliers de tonnes (Mg) de carbone sont retirées de l'air chaque année et transformées en matières organiques par la photosynthèse. En même temps, des quantités à peu près équivalentes de CO_2 sont rejetées dans l'atmosphère par la décomposition de la matière organique et la combustion des combustibles fossiles. Par le choix qu'ils exercent sur leurs méthodes, les agriculteurs peuvent gérer ce cycle et le modifier pour réduire leurs émissions nettes de CO_2.

Il existe deux façons principales de réduire les émissions : i) accroître la quantité de carbone emmagasinée dans le sol; ii) consommer moins de carburant. Diverses méthodes ont déjà été mises au point pour atteindre ces buts.

i) Augmentation de la teneur en carbone du sol

Les sols qui font l'objet depuis de nombreuses années des mêmes pratiques de gestion présentent habituellement une teneur en carbone plutôt stable. Tout changement dans la gestion de ces sols peut toutefois entraîner des pertes ou des gains de carbone. Pour accroître la teneur en carbone des sols, deux solutions sont envisageables : a) accroître la quantité de carbone ajoutée au sol; b) réduire le rythme de décomposition du carbone en CO_2.

a) Augmentation des apports en matière organique

Le carbone atmosphérique est transféré dans le sol par la photosynthèse. Ce processus transforme le CO_2 en formes organiques dont une part est retenue dans le sol sous forme de résidus. Le seul moyen direct d'accroître l'apport en carbone dans le sol consiste donc à stimuler la photosynthèse, c'est-à-dire à accroître le rendement des végétaux. On peut y arriver en utilisant des cultures ou des variétés à haut rendement, en améliorant la nutrition (à l'aide d'engrais et de fumier) ou en réduisant le stress hydrique (par l'irrigation, la conservation de l'eau ou le drainage). Toute mesure propre à améliorer la qualité du sol favorisera également des rendements plus élevés. La mesure la plus importante consiste probablement à utiliser des systèmes qui permettent de maintenir le plus souvent et le plus longtemps possible des plantes en croissance sur les terres. On peut notamment y arriver en plantant des espèces vivaces (comme les graminées), en évitant les jachères et en plantant des cultures d'hiver.

La photosynthèse ne permettra d'améliorer la teneur en carbone du sol que si une partie du carbone ainsi absorbée est retournée au sol. Plus la part du rendement exportée sous forme de céréales ou d'autres produits est grande, moins il en restera dans le sol. Ainsi, on peut utiliser des pratiques culturales qui conservent tous les résidus dans les champs, et planter des variétés (p. ex., graminées fourragères) qui accumulent beaucoup de carbone dans leurs racines. Les animaux contribuent souvent à recycler le carbone dans le sol. Dans beaucoup de systèmes fondés sur l'élevage du bétail, une part importante du rendement végétal retourne au sol sous forme de fumier et seule une faible proportion est exportée du champ ou du pâturage.

b) Réduction du taux de décomposition

Pour ralentir le taux de décomposition de la matière organique du sol, on peut également créer des conditions moins favorables aux microorganismes du sol. Par exemple, les résidus végétaux laissés à la surface gardent les sols plus frais, ce qui ralentit la décomposition. De même, en maintenant des plantes en croissance le plus longtemps possible, on ralentit la décomposition puisque les plantes assèchent le sol et le maintiennent plus frais par leur ombrage.

On peut également ralentir la décomposition en protégeant la matière organique des microorganismes. Les sols sont habituellement formés de granules (ou agrégats) à l'intérieur desquels la matière organique est protégée. La pulvérisation de ces agrégats par un travail du sol intensif expose la matière organique à l'action des microorganismes. Ainsi, les pratiques fondées sur un travail minimal du sol tendent à préserver la teneur en carbone de ce dernier. Une autre façon de protéger les matières organiques consiste à les placer dans des conditions qui sont peu propices à la décomposition. Par exemple, on peut les garder à la surface, où elles tendent à rester sèches, ou les incorporer profondément sous terre, où le sol est plus frais.

3.1.1 Moyens d'accroître la teneur en carbone du sol

Il existe plusieurs moyens de favoriser les gains en carbone du sol, soit par ajout de carbone ou par ralentissement de la décomposition (ou les deux). Les moyens énumérés ci-après sont souvent efficaces, même si leurs résultats dépendent du climat et du type de sol.

- Travail réduit du sol : Le travail du sol était autrefois nécessaire pour lutter contre les mauvaises herbes et préparer la terre à l'ensemencement. Aujourd'hui, on peut désherber à l'aide d'herbicides, et les nouvelles machines peuvent placer les semences directement dans le sol non labouré. Il n'est donc plus nécessaire de recourir au travail intensif du sol, et le nombre d'agriculteurs qui utilisent des méthodes de culture sans travail du sol et d'ensemencement direct croît sans cesse. Ces pratiques protègent le carbone du sol en préservant les agrégats et en maintenant les résidus de culture à la surface, où ils se décomposent plus lentement et maintiennent la fraîcheur du sol. La culture sans travail du sol et le travail réduit du sol protègent en outre ce dernier contre l'érosion, maintenant ainsi sa qualité et sa capacité de photosynthèse future. La culture sans travail du sol est un des moyens les plus importants d'accroître la teneur en carbone du sol puisqu'elle pourrait être adoptée sur une vaste proportion des terres cultivées canadiennes. En fait, elle était déjà pratiquée sur environ 14 p. 100 des terres cultivées en 1996, et son utilisation continue d'augmenter.
- Gestion des matières nutritives : Lorsque les sols présentent des carences en matières nutritives, l'ajout d'engrais, de fumier ou d'engrais verts augmentera leur rendement, et se traduira par des apports plus importants en carbone. Les fumiers peuvent également améliorer l'état physique ou l'état d'« ameublissement » du sol, augmentant d'autant les rendements et l'accumulation de résidus.
- Culture de plantes fourragères vivaces : Les cultures vivaces restent actives plus longtemps chaque année que les cultures annuelles, absorbant ainsi plus de CO_2 atmosphérique. L'assèchement du sol et l'absence de labours peuvent également ralentir le taux de décomposition. Les plantes vivaces comme les graminées possèdent souvent un système racinaire plus étendu que les plantes annuelles et transfèrent une plus grande quantité de carbone sous le sol. Tous ces facteurs rendent les cultures vivaces très efficaces pour accroître la teneur en carbone des sols.
- Interruption permanente des cultures : Le moyen le plus efficace d'accroître la teneur en carbone du sol consiste probablement à interrompre la culture et à rétablir la végétation originale, qu'il s'agisse de graminées ou d'arbres. Comme l'exportation du carbone sous forme de produits est réduite au minimum ou éliminée, le carbone absorbé par la photosynthèse est retourné presque entièrement au sol. En théorie, une telle « mise à l'écart » des terres cultivées permettrait à la limite de récupérer la totalité du carbone perdu depuis les débuts de l'agriculture. Toutefois, compte tenu de la perte de productivité qu'elle entraînerait, elle ne sera probablement envisageable que pour les terres marginales. Elle pourra cependant prendre la forme de plantations brise-vent ou de bandes herbeuses aménagées le long des voies d'eau permettant de lutter contre l'érosion éolienne et hydrique. Lorsque les terres sont reboisées, le bois produit peut constituer un réservoir supplémentaire de carbone.

- Élimination des jachères : Cette pratique qui consiste à laisser la terre sans récolte pendant une saison de croissance permet de lutter contre les mauvaises herbes et de rétablir la teneur en humidité du sol. Elle entraîne cependant une perte de carbone puisque pendant la jachère, aucun résidu n'est ajouté à la terre, qui demeure par ailleurs plus chaude et plus humide, et donc plus propice à la décomposition. Le passage à un système à culture continue (une récolte par année) favorise ainsi l'augmentation de la teneur en carbone du sol. Le recours à la jachère a déjà diminué au cours des récentes années, mais cette pratique persiste sur environ 6 millions d'hectares chaque année. Son élimination complète risque cependant de ne pas être souhaitable dans les régions très arides comme dans certaines parties du sud des Prairies.
- Recours aux cultures-abris : Lorsque la saison de croissance est suffisamment longue, on peut planter une culture-abri d'hiver après la récolte de la culture principale. Cette méthode permet d'ajouter plus de résidus au sol et d'éviter l'érosion.
- Élimination du brûlage des résidus : Lorsque les résidus sont brûlés, presque tout le carbone qu'ils contiennent retourne dans l'atmosphère sous forme de CO_2 et la quantité de carbone ajoutée au sol est grandement réduite.
- Recours à des cultures ou à des variétés à plus haut rendement : Les cultures ou les variétés à photosynthèse plus efficace produiront souvent plus de résidus et favoriseront ainsi l'augmentation de la teneur en carbone du sol. Toutefois, comme les sélectionneurs choisissent les variétés en fonction de leur rendement commercialisable, les quantités de résidus et de racines produites par les nouvelles variétés risquent de ne pas augmenter autant que le rendement en produits récoltés.
- Amélioration de la gestion de l'eau : L'eau est souvent le facteur limitatif de la croissance des cultures. Le sud des Prairies subit souvent de graves pénuries d'eau. Dans de tels cas, les rendements peuvent être accrus par le réacheminement de l'eau (irrigation) ou par une rétention ou un entreposage plus efficaces (p. ex., utilisation des résidus de culture ou de brise-vent pour retenir la neige). Par contre, dans certaines régions du centre et de l'est du Canada, la croissance des végétaux peut être limitée par un excès d'eau dans les sols mal drainés. Dans de tels cas, le drainage favorisera la croissance des plantes et l'apport en carbone.
- Intégration de l'élevage aux systèmes culturaux : L'utilisation des cultures pour l'alimentation du bétail donne un recyclage efficace du carbone lorsqu'on pratique une gestion appropriée du fumier. Ainsi, si la production de fourrages et d'ensilages risque d'éliminer une grande partie du carbone des champs, la plupart de ce carbone pourrait être retournée au champ sous forme de fumier. Ce fumier, en plus d'assurer le recyclage du carbone, favorise également la croissance et la photosynthèse des végétaux, également propices à l'augmentation de la teneur en carbone du sol.
- Amélioration de la gestion des pâturages : La gestion des pâturages peut influer de diverses façons sur le cycle du carbone. Elle influe sur la proportion des plantes consommées par les animaux, sur la redistribution du carbone dans le fumier, sur l'état du sol et sur la composition des espèces. Compte tenu de la multiplicité des effets, les rapports entre la teneur en carbone et le régime de pâturage sont toujours mal connus. Toutefois, le surpâturage peut conduire à des pertes importantes de carbone dues à l'érosion. En réduisant le nombre d'animaux par hectare dans de tels pâturages, on favorisera vraisemblablement l'augmentation de la teneur en carbone du sol.

Il est toujours difficile d'évaluer l'effet qu'auront ces pratiques sur la teneur en carbone du sol, et cet effet variera en partie selon les régions à cause des nombreux facteurs qui interviennent, y compris la teneur initiale du sol en carbone, les autres propriétés des sols et le climat. Il est également difficile de prédire dans quelle mesure ces pratiques seront adoptées au Canada, puisque cela dépend du prix des cultures, des coûts de production et d'autres facteurs qui varient d'année en année.

Malgré ces incertitudes, certaines estimations donnent à penser que les terres agricoles du Canada pourraient gagner jusqu'à plusieurs téragrammes de carbone par année si le recours à ces pratiques de conservation était largement répandu. On obtiendrait ainsi une élimination nette du CO_2 de l'atmosphère. Avec le temps, toutefois, le taux des gains diminuerait puisqu'il deviendrait de plus en plus difficile d'ajouter du carbone aux sols, à mesure que leur teneur en carbone augmenterait.

3.1.2 Entreposage du carbone dans les matières végétales

Dans les écosystèmes agricoles, le sol constitue le principal réservoir de carbone. Toutefois, le carbone peut s'accumuler à d'autres endroits, et notamment dans les matières végétales. Une des façons d'accroître ce type de réserve consiste à faire pousser des arbres pour aménager des brise-vent ou des boisés, près de la ferme. L'avantage net de cette pratique, en ce qui a trait à la teneur en CO_2 de l'atmosphère, dépend de la superficie des terres ainsi boisées, du taux de croissance des arbres et de l'usage auquel on destine le bois. Si ce bois doit être brûlé, les avantages à long terme seront limités, à moins que cela ne serve à réduire la dépendance vis-à-vis d'autres types de combustibles. La conversion des résidus de culture en produits ayant une longue durée de vie est une autre façon d'entreposer le carbone des végétaux. On peut, par exemple, fabriquer des panneaux de fibres à l'aide de paille de céréales. Le carbone contenu dans cette paille, au lieu d'être converti rapidement en CO_2 par la décomposition, reste prisonnier très longtemps dans ces matériaux de construction.

ii) Économies de combustibles fossiles

La machinerie agricole, le chauffage des bâtiments, le séchage des récoltes et le transport des produits dépendent de l'énergie des combustibles fossiles. On en utilise également pour la fabrication de produits utilisés à la ferme comme les engrais, les pesticides, les machines et les matériaux de construction. La plupart des émissions produites par l'utilisation des combustibles fossiles ne sont pas attribuées à l'agriculture dans l'inventaire national des gaz à effet de serre. Malgré tout, une réduction de l'utilisation de ces combustibles en agriculture abaisserait les émissions de CO_2 totales du Canada.

Il existe diverses façons de réduire la quantité de combustibles utilisés à la ferme et dans la fabrication des facteurs de production agricole.

- Travail réduit du sol - Le travail du sol est une opération qui dépense beaucoup d'énergie. La réduction ou l'élimination de cette étape peut donc permettre d'économiser les combustibles fossiles. Une étude réalisée en Ontario a démontré que le remplacement des méthodes classiques de travail du sol par un système modifié de culture sans travail du sol réduisait la consommation de carburant diesel de 30 à 4 litres par hectare. Une autre étude réalisée dans les Prairies et portant sur l'utilisation directe et indirecte des combustibles a montré que le travail réduit du sol abaissait d'environ 40 p. 100 les émissions provenant de l'utilisation directe des combustibles (E. Coxworth, 1995). Les émissions dues à l'utilisation des pesticides étaient légèrement supérieures en régime de travail réduit du sol, et celles dues aux engrais sont demeurées les mêmes. Lorsque tous les facteurs directs et indirects ont été comptabilisés, les émissions produites en régime de culture sans travail du sol atteignaient 92 p. 100 de celles produites avec les méthodes classiques, les émissions produites en régime de travail réduit du sol se situant entre les deux.
- Utilisation plus efficace des engrais - La fabrication et le transport des engrais coûtent beaucoup d'énergie. Pour chaque kilo d'engrais azotés utilisé, on obtient environ 1 kg de carbone rejeté dans l'atmosphère sous forme de CO_2. En conséquence, les méthodes d'amendement qui maintiennent les rendements avec des taux d'épandage plus bas peuvent réduire les émissions de CO_2. Un épandage plus efficace des engrais, le recours à des tests du sol pour n'utiliser que les quantités nécessaires et l'utilisation de doses variables tenant compte des différences dans la fertilité du sol comptent parmi les approches envisageables.
- Culture de légumineuses - Les légumineuses tirent souvent la plus grande partie de l'azote dont elles ont besoin de l'atmosphère. Lorsqu'elles meurent et se décomposent, elles libèrent également de l'azote dans le sol. L'utilisation appropriée des légumineuses dans les systèmes culturaux peut donc permettre de réduire les quantités d'engrais azotés nécessaires et de réduire également les émissions de CO_2. Par exemple, dans une étude réalisée à Melfort (Saskatchewan), l'introduction de la culture du pois dans la rotation a permis de réduire d'environ 25 p. 100 les émissions de CO_2 provenant des combustibles fossiles (E. Coxworth, 1995).
- Utilisation plus efficace du fumier - Le fumier contient beaucoup de matières nutritives. Toutefois, ce produit lourd et encombrant n'est pas toujours utilisé efficacement à cause, en partie, du coût élevé de son transport. En évitant l'épandage de quantités excessives de fumier dans certains endroits particuliers, on évitera non seulement les pertes nuisibles de matières nutritives dans l'environnement, mais on réduira également la demande d'engrais chimiques.
- Augmentation de l'efficacité énergétique - Au nombre des autres moyens possibles de réduire l'utilisation de l'énergie, on peut mentionner le séchage des récoltes au champ lorsque cela est possible, l'utilisation

de systèmes d'irrigation plus efficaces et l'isolation des bâtiments. Par ailleurs, beaucoup des mesures de conservation de l'énergie proposées pour les zones urbaines s'appliquent également à la ferme.

Une méthode entièrement différente de réduire les émissions dues aux combustibles fossiles consiste à cultiver des plantes qui procurent une source d'énergie de rechange. La majeure partie de ce « biocombustible » ne serait pas utilisée à la ferme, mais en remplaçant les combustibles fossiles utilisés ailleurs, elle permettrait indirectement de réduire la teneur en CO_2 de l'atmosphère. En d'autres mots, au lieu d'extraire le carbone des profondeurs du sol et de le convertir en CO_2, la production de biocombustible recycle simplement le carbone absorbé de l'air par la photosynthèse.

La façon la plus efficace d'utiliser les plantes cultivées en guise de combustible consiste à les brûler directement. Cette méthode, utilisée dans certaines régions du monde, n'est pas pratique au Canada où il faut parfois transporter le combustible sur de grandes distances.

Une méthode de rechange consiste à utiliser la fermentation pour produire de l'éthanol qui sera ensuite mélangé à l'essence dans une proportion d'environ 10 p. 100. Ce mélange peut servir dans la plupart des moteurs à essence et réduire la quantité de CO_2 produite à partir des combustibles fossiles. Les économies nettes de combustibles fossiles dépendront toutefois de la quantité de combustibles utilisée pour produire les récoltes au départ.

Les matériaux qui se convertissent le plus facilement en éthanol sont ceux qui contiennent beaucoup d'amidon. Ainsi, les céréales comme le maïs et le blé sont préférables à cette fin. Les résultats d'une étude ont porté à conclure que si le CO_2 libéré pendant la production de la récolte était pris en compte, l'utilisation d'éthanol de maïs réduirait les émissions de CO_2 d'environ 40 p. 100, comparativement aux émissions de l'essence qu'il remplacerait. Si les émissions des autres gaz à effet de serre étaient également prises en compte, l'utilisation de l'éthanol produit à partir de maïs ou de blé réduirait le potentiel de réchauffement planétaire de 25 à 30 p. 100. Au Canada, on produit actuellement environ 30 millions de litres d'éthanol à partir de blé et de maïs, ce qui permet de réduire les émissions de CO_2 d'environ 0,033 Mt par année. Si la production canadienne d'éthanol atteint l'objectif attendu de 265 millions de litres d'ici à la fin de 1999, la réduction des émissions nettes de CO_2 sera augmentée dans la même proportion.

Même s'il est plus facile de fabriquer de l'éthanol à partir de matériaux à haute teneur en amidon, de nouvelles méthodes permettent aujourd'hui d'en fabriquer à partir de matières fibreuses comme les résidus de culture, les fourrages et les rebuts de récolte. Le volume excédentaire de paille produit chaque année, au-delà des quantités nécessaires pour la litière des animaux et pour la prévention de l'érosion des sols, pourrait atteindre environ 2 Mt. Si toute cette matière était utilisée, on produirait environ 500 millions de litres d'éthanol, ce qui remplacerait environ 0,5 Mt du CO_2 provenant des combustibles fossiles (équivalant à 2 p. 100 des émissions dues à l'agriculture). La même méthode pourrait également servir à produire de l'éthanol à partir des graminées vivaces cultivées sur des terres marginales.

Une autre façon de réduire notre dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles consiste à produire du carburant pour moteurs diesels (« biodiesel ») à partir de plantes oléagineuses comme le canola, le lin, le soja et le tournesol. La production du biodiesel est techniquement faisable, mais reste actuellement plus coûteuse que la production de combustibles fossiles.

3.1.3 État actuel des méthodes de réduction des émissions de CO_2

Le cycle du carbone est l'élément central des systèmes culturaux. La réduction des émissions de CO_2 dépend principalement de l'efficacité de la gestion de ce cycle : recyclage de la plus grande quantité possible de carbone organique; travail minimal du sol; optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire; dépendance moindre vis-à-vis de l'énergie provenant de l'extérieur.

Comme elles favorisent l'efficacité, beaucoup de ces méthodes contribuent également à la pérennité des ressources terrestres et pourraient même s'avérer rentables. En conséquence, elles sont adoptées pour des raisons qui ont peu à voir avec les avantages qu'elles présentent pour la qualité de l'atmosphère. Par exemple, la plupart des

agriculteurs canadiens travaillent moins leurs terres que ceux de la génération précédente, et ils sont de plus en plus nombreux à pratiquer la culture sans travail du sol. De même, les superficies de terres cultivables en jachère sont passées d'environ 11 millions d'hectares en 1971 à environ 6 millions d'hectares en 1996 (Statistique Canada, 1998). Le recours à ces méthodes et à d'autres méthodes de conservation du carbone augmentera vraisemblablement au cours des prochaines décennies.

Les deux grandes méthodes de réduction des émissions - augmentation des réserves de carbone et dépendance moindre vis-à-vis des combustibles fossiles - donnent des résultats qui varient différemment dans le temps. L'accumulation du carbone dans les sols est surtout profitable au départ, soit au cours des quelques premières décennies, mais l'élimination nette du CO_2 diminue avec le temps puisqu'il devient de plus en plus difficile d'en accumuler davantage à mesure que la teneur en carbone des sols augmente. La réduction des émissions de CO_2 provenant des combustibles fossiles peut pour sa part paraître faible à court terme, mais elle peut donner des résultats impressionnants sur plusieurs décennies. L'élimination nette du CO_2 atmosphérique par accumulation du carbone dans les sols est limitée; celle obtenue par une utilisation réduite des combustibles fossiles peut se poursuivre indéfiniment.

Par ailleurs, le gouvernement du Canada a offert du financement pour les mesures précoces (interventions immédiates qui peuvent mener à des réductions précoces des émissions de gaz à effet de serre) qui permettront au pays de respecter ses engagements relatifs à la recherche sur le climat, aux incidences de ces gaz et aux moyens d'adaptation pris en vertu du Protocole de Kyoto. Le secteur de l'agriculture a tiré avantage de ce financement. Le projet innovateur annoncé récemment par Agriculture et Agroalimentaire Canada, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta et GEMCo pour réduire les émissions de CO_2 d'origine agricole au Canada n'est qu'un exemple de la participation de l'industrie à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

3.2 Réduction des émissions de méthane

Le méthane, comme le CO_2, est un élément du cycle du carbone des écosystèmes agricoles. Il est produit par la décomposition des matières organiques, lorsqu'une carence en oxygène empêche la conversion complète du carbone organique en CO_2. Le CH_4 et le CO_2 sont tous les deux des gaz à effet de serre, mais le premier présente un potentiel de réchauffement beaucoup plus élevé de sorte qu'il est préférable que les rejets de carbone se fassent sous forme de CO_2.

Le CH_4 produit par les exploitations agricoles canadiennes vient surtout de l'industrie du bétail, soit directement des animaux, ou du fumier qu'ils produisent. Diverses méthodes ont été proposées pour réduire les émissions de ces sources, et certaines sont déjà appliquées.

3.2.1 Réduction des émissions de CH_4 provenant des animaux

Les ruminants sont les principaux producteurs de CH_4 à la ferme. Il s'agit d'animaux comme les bovins et les moutons qui possèdent un rumen pour la prédigestion des aliments. Il existe divers moyens de réduire les émissions de CH_4 produites par ces animaux :

i) Modification des rations pour raccourcir le temps de digestion : Le CH_4 est surtout produit dans le rumen, par la fermentation des aliments en l'absence d'oxygène. Plus le séjour des aliments dans le rumen est prolongé, plus grande sera la proportion de carbone convertie en CH_4. Ainsi, toute méthode permettant d'accélérer le passage des aliments dans le rumen réduira la production de CH_4. Une étude effectuée avec des bouvillons a montré qu'en augmentant de 63 p. 100 la vitesse de transit des aliments dans le rumen, on réduisait de 29 p. 100 les émissions de CH_4. Diverses méthodes peuvent servir à cette fin : utilisation d'aliments faciles à digérer comme les céréales, les légumineuses et l'ensilage; récolte des fourrages à un stade plus précoce de leur croissance, alors qu'ils sont plus succulents; hachage des aliments pour en accroître la surface; réduction de la proportion d'herbacées secondaires et de foin et utilisation, le cas échéant, de suppléments concentrés.

ii) Ajout d'huiles comestibles : L'ajout d'huile de canola, d'huile de coco ou d'autres types d'huiles au régime des animaux peut réduire la production de CH_4 en inhibant l'activité des bactéries responsables de sa production. Malgré son efficacité, cette méthode risque de ne pas toujours être rentable.

iii) Utilisation d'ionophores : Les ionophores sont des antibiotiques qui inhibent la formation du CH_4 par les bactéries du rumen. Leur utilisation est déjà très répandue dans les secteurs de l'élevage des bovins de boucherie et des bovins laitiers. Certains indices portent cependant à croire que les microorganismes du rumen peuvent s'adapter à un ionophore donné, ce qui en réduirait l'incidence avec le temps. Pour garantir l'efficacité à long terme de cette méthode, il pourrait être nécessaire de procéder à une « rotation » des différents ionophores.

iv) Modification du type de bactérie dans le rumen : Il pourrait être possible, à l'avenir, d'introduire dans le rumen des bactéries génétiquement modifiées produisant moins de CH_4. Les recherches donnent des résultats prometteurs, mais ces inoculants ne sont toujours pas disponibles sur le marché.

v) Amélioration de l'efficacité de la production : Toute pratique contribuant à accroître la productivité par animal réduira les émissions de CH_4 puisqu'il faudra moins d'animaux pour obtenir la production souhaitée. Par exemple, en nourrissant les animaux davantage, on peut accroître la production de CH_4 par animal, mais réduire la quantité de CH_4 libérée par litre de lait ou par kg de boeuf produit. Toute autre méthode propice à une plus grande efficacité réduira de la même façon les émissions de CH_4 par unité de produit.

Beaucoup de ces pratiques sont déjà faisables et économiques. Utilisées en association, elles peuvent réduire les pertes d'énergie dues à la libération de CH_4 de la proportion normale de 5 à 8 p. 100 de l'énergie brute des aliments à seulement 2 ou 3 p. 100. Comme l'efficacité de l'alimentation est augmentée, ces pratiques présentent souvent des avantages économiques. En conséquence, elles sont déjà largement utilisées dans beaucoup d'exploitations, en particulier dans les fermes laitières et les parcs d'engraissement de bovins de boucherie.

3.2.2 Réduction des émissions de CH_4 du fumier

Le CH_4 provenant du fumier est surtout produit pendant l'entreposage. Lorsque le fumier est entreposé sous forme liquide ou en tas mal ventilés, l'absence d'oxygène empêche la décomposition complète en CO_2 et il y a production de CH_4. La plupart des méthodes de réduction des émissions visent par conséquent à ralentir le taux de décomposition, à améliorer l'aération ou à raccourcir la durée d'entreposage. Nous en énumérons quelques-unes ci-après :

i) Utilisation de systèmes à fumier solide de préférence aux systèmes à fumier liquide : L'approvisionnement en oxygène est habituellement meilleur dans le fumier solide, ce qui favorise la formation de CO_2 au lieu du CH_4.

ii) Épandage du fumier le plus tôt possible : Plus le séjour du fumier dans les parcs d'engraissement, dans les tas ou dans les cuves ou bassins à lisier se prolonge, et plus la quantité de CH_4 libérée est grande. L'épandage fréquent sur les terres peut donc réduire les émissions. Malheureusement, l'entreposage du fumier est parfois inévitable lorsque le sol est gelé, trop humide ou en culture.

iii) Réduction de la quantité de litière dans le fumier : L'incorporation dans le fumier d'une grande quantité de matériel de litière comme la paille augmente la quantité de carbone qui peut être convertie en CH_4.

iv) Maintien au frais des réservoirs d'entreposage : En abaissant la température des réservoirs, grâce à l'isolation ou à l'enfouissement, on ralentit la décomposition et on réduit ainsi les émissions de CH_4.

v) Utilisation du CH_4 en guise de combustible : Le méthane est un combustible très efficace; il s'agit en fait du principal constituant du gaz naturel. Dans certains pays, le CH_4 produit par le fumier entreposé est déjà recueilli et brûlé. Au Canada, cette méthode risque de ne pas être encore entièrement pratique ou rentable, mais elle suscite de plus en plus d'intérêt. La combustion du CH_4 produit du CO_2, un gaz au potentiel de réchauffement beaucoup plus faible.

vi) Élimination des décharges de fumier : La majeure partie du fumier produit au Canada est épandue sur les terres, mais de petites quantités sont toujours jetées dans des décharges. Comme la décomposition dans les décharges manque habituellement d'oxygène, cette pratique peut entraîner l'émission de grandes quantités de CH_4. (Il s'agit en outre d'un gaspillage de matières organiques utiles.)

vii) Aération du fumier pendant le compostage : Pour faciliter le transport du fumier, on procède parfois à son compostage avant l'épandage sur les terres. La quantité de CH_4 libérée pendant le compostage peut être réduite par l'aération du fumier, soit par un brassage fréquent de la masse de fumier, soit par l'installation d'un système de ventilation à l'intérieur de cette masse. Cette aération favorise la décomposition complète de la matière organique en CO_2, plutôt qu'une libération de carbone sous forme de CH_4.

Ces méthodes peuvent réduire, dans une certaine mesure, les émissions de CH_4 provenant du fumier. Compte tenu de la densité élevée des animaux d'élevage dans certaines régions et du coût élevé de la manutention et du transport, la gestion du fumier pose toujours un défi, et il faudra peut-être imaginer d'autres solutions pour réduire les émissions.

3.3 Techniques de réduction des oxydes nitreux

Les émissions de N_2O surviennent lorsque des quantités excédentaires de NO_3^- subissent une dénitrification, dans les terres agricoles elles-mêmes ou après leur lessivage. On peut réduire ces émissions en évitant l'accumulation de NO_3^- ou les conditions du sol qui favorisent la dénitrification. Une certaine quantité de N_2O est également produite pendant la conversion du NH_4^+ en NO_3^- (nitrification). Ces émissions peuvent être réduites en ajoutant moins de NH_4^+ ou en ralentissant le taux de nitrification. Dans l'ensemble, le meilleur moyen de réduire les émissions de N_2O consiste à gérer le cycle de l'azote plus efficacement et à éviter ainsi l'accumulation de quantités excessives de NH_4^+ ou de NO_3^-. Les moyens utilisés à cette fin varient d'une exploitation à l'autre au Canada; en voici quelques exemples :

Mesurer l'apport en engrais en fonction des besoins des plantes : Le meilleur moyen de réduire les émissions de N_2O consiste probablement à limiter les épandages d'engrais azotés aux quantités tout juste nécessaires pour obtenir le rendement maximal des plantes sans laisser d'excédents d'azote. Il est rarement possible de réaliser une correspondance exacte, mais la synchronisation des épandages peut souvent être améliorée par la réalisation de tests sur les sols et l'estimation des quantités d'azote rejetées par les résidus et la matière organique. Dans les champs où la fertilité varie, l'épandage d'engrais azotés à des doses variables dans l'espace peut également améliorer l'appariement des quantités épandues et de celles absorbées par les récoltes.

Épandages modérés de fumier : Les terres qui reçoivent beaucoup de fumier peuvent émettre beaucoup de N_2O puisque le fumier constitue à la fois un apport d'azote et de carbone. En outre, l'épandage de fumier est souvent

vu comme un moyen d'élimination de cette matière, ce qui peut conduire à l'utilisation de quantités excessives. L'épandage de fumier mesuré pour répondre aux besoins des plantes peut grandement réduire les émissions de N_2O provenant de cette source.

Synchronisation optimale des épandages : La synchronisation des épandages d'engrais azotés est aussi importante que la mesure des quantités utilisées. L'azote ne devrait autant que possible être ajouté qu'au moment qui précède immédiatement l'absorption maximale par les plantes. Ainsi, il convient d'éviter les épandages d'engrais et de fumier en automne. De même, l'incorporation dans le sol de plantes riches en azote comme les légumineuses devrait être planifiée de manière que les rejets d'azote coïncident avec les besoins subséquents des cultures.

Amélioration de l'aération du sol : La dénitrification et les émissions de N_2O qu'elle entraîne sont favorisées par la baisse de la teneur en oxygène des sols qui survient habituellement lorsqu'ils sont très humides. On peut donc réduire les émissions de N_2O par la gestion de l'eau des sols : drainage des sols qui se gorgent facilement d'eau, utilisation plus prudente de l'irrigation; recours à des façons culturales propices à l'amélioration de la structure des sols.

Utilisation d'engrais améliorés : Les recherches ont montré que certains types d'engrais produisent plus de N_2O que d'autres. L'ammoniac anhydre est celui qui risque d'en produire le plus tandis que les engrais contenant du NO_3^- en produisent le moins. On pourrait donc réduire les émissions de N_2O par un choix approprié d'engrais, même si les différences qui existent d'un type à l'autre n'ont pas encore fait l'objet d'une étude complète au Canada. On peut également songer à utiliser des engrais à libération lente comme l'urée enrobée de soufre. Ces engrais, en libérant l'azote graduellement, nourrissent les récoltes tout en évitant l'accumulation d'azote assimilable. Toutefois, malgré leur efficacité à réduire les émissions de N_2O, ces produits risquent de n'être rentables que pour les cultures de grande valeur.

Localisation des engrais pour en améliorer l'efficacité : La localisation des engrais à proximité des racines des plantes peut en améliorer l'efficacité et permettre ainsi d'obtenir de hauts rendements avec des doses plus faibles. Par contre, si l'engrais est placé trop profondément dans le sol ou en concentrations trop grandes comme dans les bandes d'urée, cela pourrait accroître les émissions de N_2O.

Recours à des inhibiteurs de nitrification : Certaines substances chimiques ajoutées aux engrais ou aux fumiers inhibent la formation de NO_3^- à partir du NH_4^+. Leur utilisation permet d'empêcher la formation de N_2O de diverses façons : elle réduit la formation de N_2O pendant la nitrification, elle évite la dénitrification du NO_3^- accumulé et, comme le NH_4^+ n'est pas facilement lessivable, elle évite les pertes d'azote dans l'eau souterraine, où la dénitrification pourrait survenir.

Utilisation de cultures-abris : Lorsque la saison de croissance est suffisamment longue, on peut procéder à un nouvel ensemencement après la récolte pour extraire le NO_3^- excédentaire du sol et en empêcher le lessivage ou la conversion en N_2O.

Chaulage des sols acides : Les émissions de N_2O, favorisées par l'acidité des sols, peuvent être évitées par l'épandage de chaux en vue de corriger l'acidité du sol.

Réduction du travail du sol : Malgré des résultats encore variables, certaines études réalisées au Canada indiquent que les émissions de N_2O pourraient être moindres dans les champs cultivés sans travail du sol. Si elle est confirmée, cette observation pourrait porter à ranger la culture sans travail du sol dans les moyens de lutte contre les émissions, au moins dans certains types de sol.

Les méthodes peuvent contribuer à réduire les émissions de N_2O dans beaucoup de circonstances. Compte tenu du caractère sporadique des émissions de N_2O, il n'est toujours pas possible, à l'heure actuelle, d'en garantir l'efficacité pour tous les types de sol et de systèmes culturaux au Canada. Les méthodes qui permettent une utilisation plus efficace de l'azote se justifient toutefois déjà pour des raisons qui ont peu à voir avec la réduction des émissions de N_2O. Les engrais représentent environ 9 p. 100 des coûts de production agricole, et toute méthode permettant de réduire les pertes d'azote présente des avantages économiques.

4. Recherches en cours sur les moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture

Plusieurs travaux de recherche, études économiques et exposés de principe sont actuellement en voie de préparation pour le compte de la table de concertation d'AAC sur le changement climatique. Les documents ont pour objet de cerner les problèmes, de décrire l'état des connaissances actuelles et de tirer des conclusions ou de définir les options et les besoins des recherches ultérieures. Les documents de recherche mettent l'accent sur les questions liées à la réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par l'agriculture, tandis que les études économiques et les exposés de principe se penchent sur l'adaptation, les moyens de réduction et les projets de recherche visant à réduire notre vulnérabilité (section 5.1) ainsi que sur les aspects économiques de diverses pratiques qui pourraient améliorer notre évaluation des possibilités de réduction des émissions (section 5.2). À l'époque où le présent document a été rédigé, ces études n'étaient pas encore terminées. Toutefois, les résumés et les synopsis qui existaient déjà ont été inclus dans le présent document.

4.1 Réduction des émissions de CO_2

4.1.1 Quantification, prévision et vérification des modifications de la teneur en carbone du sol

B.H. Ellert

Le sol renferme plus de deux fois la concentration de carbone que l'atmosphère à l'échelle planétaire. Par conséquent, l'échange de carbone entre le sol et l'atmosphère a une influence importante sur la quantité de CO_2 dans l'atmosphère et sur la matière organique dans les couches superficielles du sol. Les préoccupations liées au changement climatique ont suscité beaucoup d'intérêt dans la possibilité de réduire le CO_2 atmosphérique par la séquestration du carbone organique dans le sol. Malgré toutes les recherches entreprises jusqu'à présent sur la matière organique du sol, l'évaluation des possibilités de séquestration du carbone est toujours limitée par l'absence de méthodes adéquates pour quantifier, prédire et vérifier les modifications de la teneur en carbone du sol.

Le stockage du carbone dans le sol varie en fonction de la superficie et de l'épaisseur ou de la masse du sol. Il faut faire un inventaire de la superficie de la couverture végétale, de l'utilisation et de la gestion des serres pour mesurer la teneur en carbone des sols à l'échelle régionale et nationale. Il faut commencer par mesurer le carbone stocké par unité de surface à certains endroits du paysage. À ces endroits, on prélève des échantillons de sol d'un certain volume et on en détermine la teneur en carbone organique.

Une évaluation précise des modifications de la teneur en carbone du sol en fonction du temps nous fournit une information précieuse sur l'échange net de carbone entre le sol et l'atmosphère. On peut déterminer avec fiabilité les modifications de la capacité de stockage du sol à certains endroits du paysage en fonction du temps. La méthode exige : a) de faire un échantillonnage représentatif des réserves totales de carbone dans le sol, y compris des fragments grossiers de la litière végétale; b) d'intercaler des échantillons prélevés à différents moments pour réduire l'influence des variations spatiales; c) de déterminer avec précision la teneur en carbone du sol et d) d'établir des comparaisons à partir d'une masse équivalente de sol pour régler la profondeur d'échantillonnage en fonction de la densité apparente. Malgré l'information utile qu'elle procure sur la qualité du carbone organique du sol ou sa décomposabilité, l'analyse de fractions soumises à un cycle actif est difficile à normaliser et la relation entre ces fractions et la teneur en carbone total du sol peut être difficile à déterminer.

Le recours à des traceurs isotopiques à des concentrations naturelles et artificiellement enrichies pour distinguer le carbone du sol récemment dérivé de matières végétales du carbone présent depuis un certain temps est un outil puissant pour étudier la production, la décomposition, la rétention et la stabilisation du carbone organique dans le sol. Les isotopes sont utiles pour évaluer l'importance fonctionnelle de diverses fractions de carbone organique du sol définies par des méthodes physiques, biologiques ou chimiques. Il faudra des études plus poussées sur la décomposition et la persistance de litière végétale enrichie en ^{13}C ou en ^{14}C pour évaluer la dynamique du carbone des résidus de végétaux dans des conditions très différentes de gestion du sol et de milieux. Ces études devraient nous aider à déterminer avec plus de certitude jusqu'à quel point on peut modifier la capacité de stockage du carbone dans le sol par la gestion des résidus. En raison de la variabilité spatiale de la teneur en carbone organique du sol dans les divers écodistricts et dans des paysages individuels, il faudra probablement utiliser un certain modèle

pour déterminer les modifications éventuelles de la teneur en carbone du sol. La mesure directe des modifications de la teneur en carbone du sol dans tous les paysages possibles serait irréalisable et en fait peu utile scientifiquement. L'observation des rendements des récoltes pour évaluer les apports en résidus végétaux chaque année pourrait peut-être mieux refléter les conditions propres à un site et éviter l'incertitude supplémentaire liée à une croissance simulée de végétaux. Les modèles complexes de simulation de la production végétale alliés à la dynamique du carbone dans le sol sont des outils de recherche valables pour étudier les interactions entre les composantes et les processus d'un écosystème, mais les estimations des modifications de la teneur en carbone du sol en fonction du temps qu'ils nous procurent risquent de ne pas être plus fiables que ceux obtenus par les modèles plus simples. Peu importe le modèle choisi pour extrapoler les mesures ponctuelles des modifications de la teneur en carbone du sol de façon à obtenir des estimations régionales, il est essentiel de faire une évaluation quelconque des erreurs susceptibles de se produire.

4.2 Réduction des émissions de méthane

4.2.1 Effets de la production de bovins en parcours sur les gaz à effets de serre - Mise au point

J.C. Kopp et K.M. Wittenberg

Depuis des années, les scientifiques se penchent sur un problème environnemental important, l'effet de serre. Les ruminants produisent du méthane (CH_4), un gaz incolore, inodore et non toxique, mais qui suscite des préoccupations d'ordre environnemental. Environ 3,6 p. 100 des terres canadiennes sont utilisées comme pâturage ou pour la production de fourrages. Cette proportion peut sembler infime, mais on cherche de plus en plus à déterminer si les systèmes de pâturage pour les bovins sont des producteurs ou des consommateurs nets de gaz à effet de serre.

Un pâturage bien géré accroît la productivité des graminées et améliore la santé du peuplement qui augmente la captation des gaz à effet de serre par les microorganismes et les plantes. L'animal au pâturage retourne une proportion élevée des éléments nutritifs végétaux consommés dans le sol et, par conséquent, l'alimentation au pâturage constitue une forme d'agriculture hautement durable. L'élément clé est le recyclage; les bovins au pâturage n'utilisent pas de carbone fossile, mais le carbone qui provient de l'atmosphère et que les plantes ont utilisé sous forme de CO_2. Le cycle des éléments nutritifs des plantes vers le sol se poursuit; avec la présence d'herbivores, la structure chimique des éléments nutritifs est modifiée et ces derniers retournent au sol sous forme de matières fécales et d'urine. Les éléments nutritifs comme l'azote et le phosphore des excréments des animaux sont plus faciles à utiliser par les plantes que les éléments nutritifs qui sont simplement recyclés à l'interface plante-sol. On estime qu'environ 30 à 40 p. 100 du carbone consommé par les bovins retourne au sol.

En théorie, toute la biomasse à la surface du sol meurt et est décomposée d'une façon ou d'une autre chaque année. Comme la durée du modèle actuel est d'une saison de pâturage (120 d), on ne peut pas évaluer directement l'effet que l'animal peut avoir sur le stockage du carbone dans le pâturage, mais l'inclusion d'herbivores dans un système de pâturage à graminées ne semble pas augmenter les émissions nettes de gaz à effet de serre. Grâce aux données publiées par Van Veen et Paul, on peut faire une estimation de la teneur en carbone d'un pâturage. Les résultats finals d'une telle évaluation seraient meilleurs si on utilisait des données obtenues directement dans le pâturage. Toutefois, un projet de cette ampleur serait très complexe et exigerait un groupe de scientifiques compétents de nombreuses disciplines. Il faudra de plus amples recherches pour déterminer directement la quantité de carbone que renferment les prairies à graminées de différentes régions et l'effet du pâturage dans ces régions.

4.2.2 Mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre du fumier

Daniel I. Massé et Francis Croteau

Les établissements de production animale et les structures de stockage du fumier sont des sources fixes et permanentes de diverses émissions gazeuses. Comme les processus de digestion animale sont incomplets et qu'il existe des microorganismes dans les déjections, une quantité importante de matière organique peut être transformée en CH4 lorsque la décomposition s'effectue dans un environnement relativement chaud, humide et anaérobie. On retrouve de telles conditions, entre autres, dans les rigoles et fosses à fumier semi-liquide et dans les lagunes anaérobies. La gestion et le stockage des fumiers contribue inévitablement à l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre d'origine anthropique résultant de l'agriculture, notamment dans les pays industrialisés où une proportion élevée de la production animale est intensive.

On dispose de peu de données expérimentales sur les émissions réelles de CH4 provenant de divers types et conditions de stockage du fumier à la ferme, et les données disponibles sont passablement incertaines. Un certain nombre de facteurs externes (propriétés physico-chimiques du fumier, méthode de mesure des émissions de gaz, variation de la température, formation d'une croûte à la surface du fumier semi-liquide, etc.) peuvent influencer la production de CH4, et ces paramètres ne sont pas toujours mesurés de la même façon ou même pris en compte dans certaines études. Par conséquent, il est assez difficile de comparer réellement les valeurs obtenues dans le cadre de diverses études et d'affirmer avec certitude qu'il s'agit des données les plus représentatives sur les émissions réelles de CH4 de divers systèmes de stockage du fumier. Toutefois, nous avons observé que la plupart des données sont du même ordre de grandeur, mais que les résultats signalés sur les émissions de CH4 du fumier varient en fait de façon considérable.

Les méthodes classiques de gestion et de stockage du fumier liquide ou solide sont des sources inévitables d'émissions de gaz à effet de serre. Si aucune mesure de réduction ou d'atténuation de ces émissions n'est prise, l'augmentation de la production animale sera à l'origine d'une augmentation importante des émissions de gaz du fumier. Les principales techniques visant à réduire les émissions de CH4 font appel à des lagunes anaérobies couvertes et à des digesteurs anaérobies. Ces systèmes fournissent aux microorganismes les conditions nécessaires pour dégrader la matière organique plus complètement et plus efficacement. Ces installations de digestion anaérobie contrôlée transforment les déchets des établissements de production animale en un carburant biologique propre, tout en réduisant au minimum les effets nocifs de ces déchets organiques sur l'environnement et la santé publique.

4.2.3 Possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant des animaux domestiques monogastriques

Candido Pomar

La concentration atmosphérique de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O), qui ont un effet sur le bilan radiatif de la Terre, augmente à raison d'environ 30 p. 100, 145 p. 100 et 15 p. 100, respectivement. Beaucoup de gaz à effet de serre demeurent longtemps dans l'atmosphère. On a donc prédit que la température moyenne de la planète allait augmenter de plusieurs degrés au cours du prochain siècle, ce qui modifierait les précipitations et d'autres variables climatiques. Ces modifications auront un effet sur l'humidité au sol, augmenteront le niveau moyen de la mer et seront responsables d'un plus grand nombre de phénomènes extrêmes liés à la température, d'inondations et de sécheresses.

L'oxyde nitreux est un gaz à effet de serre actif sur le plan chimique et radiatif qui provient de diverses sources biologiques dans le sol et l'eau. Les émissions de N_2O sont beaucoup plus faibles que celles de CO_2, mais le N_2O est environ 310 fois plus puissant que le CO_2 pour emmagasiner la chaleur de l'atmosphère sur un horizon temporel de 100 ans. Les principales sources d'oxyde nitreux sont les pratiques de culture du sol, notamment l'utilisation d'engrais industriels et organiques, la combustion des combustibles fossiles, la production d'acide nitrique et la combustion de la biomasse. Le fumier épandu dans les champs est une source importante de N_2O que l'on peut évaluer à 2 kg par mètre cube. Au Canada seulement, les émissions de N_2O de l'industrie porcine peuvent représenter plus de 40 millions de kg par année.

Il existe différentes méthodes pour réduire les émissions de N_2O du fumier du bétail. Toutefois, dans le cas des porcs et d'autres animaux domestiques monogastriques, la réduction de l'ingestion des protéines est reconnue comme une méthode très rentable de réduire l'excrétion d'azote et, par conséquent, les émissions d'oxyde nitreux du fumier épandu dans les champs. En fait, il est possible de réduire de façon significative la quantité totale d'azote excrétée par les porcs en modifiant la composition de leur régime alimentaire. En outre, cette modification du régime peut se faire par des techniques relativement simples, à un coût raisonnable et bien souvent en l'absence d'additif alimentaire. On peut réduire l'excrétion d'azote sans nuire au rendement de l'animal par les méthodes suivantes : a) calculer plus précisément la quantité de protéines dans le régime alimentaire de façon à satisfaire aux besoins de l'animal tout en évitant les excès; b) augmenter la qualité des protéines alimentaires et réduire la quantité totale de protéines dans le régime alimentaire des porcs; c) diminuer progressivement la quantité de protéines dans le régime en fonction des besoins décroissants de l'animal (alimentation progressive); d) trouver le programme alimentaire optimal sur les plans économique et environnemental, étant donné que les recettes maximales ne sont généralement pas obtenues à un taux de croissance maximal. Si toutes ces techniques, ou un certain nombre d'entre elles, étaient appliquées sur la ferme, il serait possible dans bien des cas de réduire de plus de 50 p. 100 l'excrétion totale d'azote par les porcs.

4.2.4 Possibilités de réduction des émissions de méthane provenant des ruminants

D. Boadi et K. M. Wittenberg

On estime que les émissions des ruminants sont à l'origine de 15 % du méthane atmosphérique mondial. Au Canada, l'industrie des ruminants contribue pour environ 1 % de la production du méthane mondial. Le méthane est un sous-produit naturel de la fermentation des aliments dans le tractus gastro-intestinal des ruminants. Il constitue une perte d'énergie alimentaire dans la production animale et contribue aux émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. On a estimé les émissions de méthane des ruminants à partir d'équations prédictives et de données recueillies dans des enceintes contrôlées; ces estimations ne reflètent pas nécessairement les niveaux d'émission réels ou même l'étendue des valeurs dans un environnement de production normal. Le Canada peut contribuer à réduire les émissions de méthane; il est donc essentiel de bien comprendre les principes scientifiques en jeu et d'évaluer les améliorations qui pourraient être apportées dans l'industrie des productions animales.

Il existe un certain nombre de stratégies permettant d'améliorer l'efficacité de la production animale ou de modifier la fermentation entérique dans le but de réduire la production de CH_4 par unité produite. On peut utiliser des agents qui accélèrent la production, comme des implants anaboliques qui peuvent réduire les émissions de méthane en réduisant chez les animaux le temps requis pour atteindre le poids de marché et la production de tissus maigres. Toutes les stratégies de gestion qui réduisent l'énergie des aliments servant au maintien de l'animal et à la production de tissus maigres ou de matières grasses du lait contribuent à réduire les émissions de méthane. Ainsi, les animaux deviennent plus efficients à transformer les aliments en tissus maigres ou en protéines du lait. On a montré en laboratoire qu'il est possible de modifier la fermentation entérique de façon à réduire les émissions de méthane, mais cela n'a pas été vérifié dans les systèmes industriels de production animale.

On peut également réduire les émissions par une meilleure gestion du pâturage, par des supplémentations stratégiques et par l'utilisation de fourrages de bonne qualité. L'utilisation d'animaux au profil génétique supérieur et l'amélioration de la nutrition des femelles de reproduction se traduisent par un meilleur pourcentage de vêlage et par un poids au sevrage plus élevé. On réduit ainsi au minimum le coût des aliments par unité de produit ainsi que le coût de production en général et les émissions de CH_4.

Les techniques et recherches futures dans le domaine de la réduction des émissions de méthane pourraient faire appel à des ionophores plus persistants pouvant être utilisés pour la production à long terme et pour stimuler la production d'un groupe de microorganismes appelés acétogènes que l'on a isolés du rumen. Pour faire avancer rapidement ces techniques, il faudra prévoir des tests avec des animaux dans des conditions industrielles réelles.

Il faudra également voir à rendre ces stratégies plus rentables et efficaces à long terme et évaluer les intrants associés aux stratégies de réduction des émissions dans le cadre de la réduction de l'ensemble des gaz à effet de

serre. On devra effectuer une telle analyse pour chaque technique de façon à en dégager les avantages nets dans l'objectif de réduction des gaz à effet de serre.

4.2.5 Les systèmes de gestion du fumier du bétail et la production de gaz à effet de serre
Sylvio Tessier et Alfred Marquis

L'agriculture est la source de trois importants « gaz à effet de serre », le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O), qui contribuent au processus de réchauffement de la planète par l'« effet de serre ». La production animale est aussi sans aucun doute une source de ces trois gaz, lesquels résultent de l'activité métabolique des animaux ainsi que du recyclage du fumier des animaux utilisé à titre d'engrais organique.

Actuellement, les valeurs des émissions de gaz à effet de serre de la production animale proviennent en grande partie d'estimations brutes tirées d'inventaires sur les animaux, qui tiennent peu compte des systèmes de gestion utilisés. Dans le cadre de l'élaboration d'un plan d'action visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture, il est important de déterminer exactement l'impact relatif des divers composants des systèmes de gestion du fumier sur l'ensemble de ces émissions. Dans l'hypothèse que la gestion du fumier contribue de façon importante aux émissions de gaz à effet de serre provenant de la production animale, il serait justifié de promouvoir l'adoption de systèmes et de pratiques émettant une moins grande quantité de ces gaz ou de mener les travaux de R-D nécessaires pour mettre au point la technologie appropriée.

Les gaz à effet de serre peuvent provenir de certains composants des systèmes de gestion du fumier, lorsque des conditions anaérobies partielles ou totales s'installent par suite d'une raréfaction de l'oxygène ou de la prédominance de microsites anaérobies sur des particules de matière organique. Les bactéries anaérobies dégradent essentiellement les matières solides du fumier en composés fortement réduits, dont du CH_4 et du CO_2. Le N_2O est également un puissant gaz à effet de serre produit à partir du fumier; il peut être produit dans des conditions aérobies par la nitrification du NH_3 en NO_3, ou, dans des conditions pauvres en oxygène, par la dénitrification du NO_3 par les microorganismes. Mais pour obtenir ce résultat de n'importe lequel composant d'un système de gestion du fumier à la ferme, il faut d'abord des conditions aérobies.

Dans les étables, les émissions de gaz à effet de serre proviennent de deux sources : la gestion du fumier liquide et du fumier solide. La plupart des systèmes de gestion du fumier liquide font appel à des rigoles peu profondes dans lesquelles le fumier est évacué une ou deux fois par semaine vers les installations de stockage. Certains systèmes comprennent une structure de pré-stockage qui recueille le fumier dans un poste de pompage central. Une certaine décomposition anaérobie peut sans doute se produire dans les installations abritant le bétail, mais les quantités de CH_4 et de CO_2 résultant de la fermentation anaérobie risquent d'être minimes.

Dans le cas de la gestion du fumier solide, les deux systèmes couramment utilisés sont une rigole dans laquelle le fumier est évacué chaque jour et les litières que l'on laisse s'accumuler. Il est peu probable que ces systemes émettent des quantités importantes de CH_4. Toutefois, les conditions peuvent être favorables aux processus de nitrification et de dénitrification, responsables de la formation d'émissions de N_2O et de CO_2. Par conséquent, il est probable que les systèmes à litières accumulées puissent être à l'origine d'émissions de N_2O, notamment lorsqu'elles sont utilisées dans des porcheries ou des poulaillers, étant donné qu'il y règne souvent des conditions aérobies par suite de la nécessité de maintenir une litière sèche pour assurer une production maximale.

Les émissions de gaz à effet de serre des systèmes de stockage du fumier ne sont probablement pas un problème important avec les systèmes de gestion du fumier actuels. En effet, la plus grande partie du fumier dans les gros systèmes de stockage est soumise à des conditions généralement anaérobies qui limitent la nitrification du NH_3 en NO_3, une étape nécessaire dans la production de N_2O.

L'importance des émissions de CH_4 du fumier stocké au Canada varie en fonction des conditions climatiques. Si on analyse bien la situation, on constate que des erreurs importantes peuvent se glisser dans les estimations d'émissions de Gaz à effet de serre lorsque des facteur d'émission élaborés dans d'autres pays sont utilisés pour estimer les émissions provenant des structures et pratiques de gestion du fumier au Canada. Dans le cas des émissions de N_2O, très peu de données obtenues au Canada peuvent appuyer l'hypothèse que les structures de

gestion du fumier émettent de grandes quantités de N_2O. Par conséquent, il faudra répondre à beaucoup de questions avant d'élaborer un plan de réduction des Gaz à effet de serre et de l'appliquer avec succès dans les systèmes de production animale.

4.3 Mesures de réduction de l'oxyde nitreux

4.3.1 Mise au point de méthodes de prévision des émissions de N_2O dans les systèmes de production culturale
W.N. Smith, R. Lemke, R.L. Desjardins

Des événements politiques récents soulignent les préoccupations croissantes relatives à l'augmentation des émissions de N_2O et d'autres gaz à effet de serre dans notre environnement planétaire. Le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre à l'échelle nationale de 6 p. 100 par rapport à celles de 1990 d'ici 2008. Pour atteindre cet objectif, nous devons pouvoir mesurer avec précision ces émissions et mettre au point des stratégies efficaces pour réduire ces émissions au cours d'une période donnée. Comme les agroécosystèmes sont des systèmes gérés, il est donc possible d'adopter des stratégies de gestion destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre. En fait, comme les sols agricoles ont perdu 25 p. 100 de leur carbone organique, on espère que des stratégies de gestion innovatrices vont nous permettre d'augmenter la teneur du sol en matière organique. Les sols agricoles pourraient devenir alors des puits nets de carbone en emmagasinant le CO_2 de l'atmosphère dans les réserves de matière organique du sol. En général, les stratégies de gestion qui améliorent l'efficacité d'utilisation de l'azote sont fort susceptibles de réduire les émissions de N_2O. Toutefois, les conditions qui règlent la production et l'émission de N_2O sont complexes, et il faut tenir compte de nombreuses interactions.

Les processus de production de N_2O les plus importants dans le sol sont la dénitrification et la nitrification. Ces processus sont influencés par des facteurs environnementaux comme la température, les précipitations, la fonte des neige, la congélation et la décongélation. Les pratiques de gestion agricole comme l'épandage de fumier ou d'engrais, l'incorporation de récoltes ou de résidus de récoltes et le travail du sol ont également un effet sur la production et l'émission de N_2O. On a mis au point plusieurs modèles de simulation qui décrivent la dynamique de l'azote dans les sols.

Jusqu'à maintenant, la méthode du GIEC a été l'outil le plus utilisé pour estimer les émissions de gaz à effet de serre au Canada. Le GIEC a mis au point une méthode pour calculer les émissions nationales de N_2O provenant de l'agriculture, ce qui comprend les émissions directes des sols agricoles, les émissions de la production animale et les émissions de N_2O issues indirectement des activités agricoles. On estime les émissions directes des sols agricoles par une simple extrapolation linéaire entre les apports anthropiques d'azote et les émissions de N_2O. La méthode ne tient pas compte des diverses conditions climatiques et des divers types de sol, deux facteurs qui influencent les émissions de N_2O.

L'un des modèles les plus exacts est le modèle CENTURY, un modèle de simulation par ordinateur spécifique d'un endroit précis qui fait appel à des relations simplifiées entre les diverses interactions sol-plantes-climat pour décrire la dynamique du carbone et de l'azote dans les prairies à graminées, les terres cultivés, les forêts et les savanes, Le modèle était à l'origine utilisé pour estimer les émissions de CO_2, mais il a été révisé récemment pour estimer également les émissions de N_2O. On n'a pas vérifié si le modèle CENTURY pouvait simuler les émissions de N_2O dans les conditions qui prévalent au Canada.

Il est difficile de déterminer le niveau d'incertitude dans un modèle. L'incertitude existe dans les données du modèle, dans la mise au point du modèle et dans notre compréhension des phénomènes en jeu. Pour obtenir des estimations plus exactes des émissions de N_2O, il est urgent de mettre au point des techniques de mise à l'échelle et des modèles de simulation suffisamment dynamiques pour tenir compte des variables spatiales et temporelles. Des modèles adéquats amélioreraient la fiabilité des intégrations spatiales et temporelles et permettraient de mettre nos connaissances à l'épreuve de manière à déceler les lacunes et à y remédier. Ces modèles sont également nécessaires comme outils d'étude et d'évaluation de l'influence des divers scénarios de gestion au de climat sur les émissions de N_2O ou des deux.

4.3.2 Émissions d'oxyde nitreux provenant des agroécosystèmes canadiens : élucidation du processus
R.L. Lemke, P. Rochette et E. VanBochove

On considère que la nitrification et la dénitrification sont les principales sources des émissions de N_2O des sols agricoles. La quantité de N_2O produite varie en fonction des taux de nitrification et de dénitrification et du rapport de N_2O produit par unité de N transformée. La quantité de N_2O libérée dans l'atmosphère dépend également de la quantité de N_2O consommée durant le transport jusqu'à la surface du sol. Les taux et le rapport de N_2O produit sont soumis au niveau cellulaire à une interaction complexe entre O_2, NO_3^-, NH_4^+, le C disponible, l'humidité et la température. En plein champ, les conditions qui interviennent dans la production de N_2O à une micro-échelle sont établies par l'intégration de nombreuses variables de régulation à des échelles beaucoup plus grandes. Plusieurs études à l'échelle du paysage ont établi des relations étroites entre la quantité de N_2O perdue chaque année et les différences de texture, de drainage et de pente du sol, ce qui met en lumière l'importance de choisir les indicateurs appropriés à l'échelle de l'étude. Les émissions de N_2O sont très épisodiques; elles sont associées à des sols à forte teneur en eau à la suite de fortes précipitations ou de la fonte des neiges au printemps. La confluence de précipitations et de régimes de température à l'échelle régionale se traduit par un flux de N_2O saisonnier qui varie de région en région.

Les activités agricoles influencent les émissions de N_2O, principalement en changeant la quantité et le profil de N recyclé dans le système sol-végétaux. Lorsqu'une accumulation de N inorganique, par exemple à la suite d'une application d'engrais azoté ou de fumier, de l'incorporation de résidus de légumineuses, ou de périodes de jachère, coïncide avec un sol à forte teneur en eau et une disponibilité élevée du C, il peut se produire des pertes substantielles de N_2O. On a mesuré des pertes particulièrement élevées de N_2O à la suite d'une addition de fumier et de résidus de légumineuses qui augmente les quantités de C et de N disponibles. Quelques études ont indiqué, toutefois, que les pertes de N_2O provenant de fourrages ou de légumineuses à graines sur pied sont en fait moins importantes que dans le cas d'autres céréales. Les observations indiquent que la façon d'utiliser les résidus de légumineuses est un élément important et que toutes les phases de la rotation doivent être envisagées. La plupart des études ont signalé une augmentation des émissions de N_2O à la suite de l'application d'un engrais azoté, les pertes s'établissant à 1 à 3 % du N appliqué. La relation entre la dose d'engrais azoté et les émissions de N_2O n'est pas nécessairement linéaire, mais varie en fonction de nombreux autres facteurs, comme des caractéristiques propres à l'endroit, le travail du sol ainsi que le type et la localisation de l'engrais. Les cultures agricoles absorbent souvent moins de 50 % de l'engrais azoté appliqué. Le sort du reste de cet engrais n'est pas clair, mais il est une source de préoccupation importante, car une partie de cet azote est vraisemblablement perdue sous forme de N_2O.

Les possibilités de limiter les émissions agricoles de N_2O se résument à bien adapter l'application d'engrais azoté aux besoins de la plante et à choisir le moment de ces applications en fonction des profils d'absorption de la plante. Une bonne localisation de l'engrais azoté augmente la quantité que la plante peut absorber et pourrait contribuer à réduire les émissions de N_2O. Des techniques avancées de gestion de l'azote, comme l'utilisation d'engrais à libération contrôlée et les inhibiteurs de la nitrification, sont également prometteuses. On obtiendra également des résultats significatifs en évitant des pratiques, comme les jachères et l'incorporation de résidus de légumineuses à l'automne, qui sont responsables d'une plus grande accumulation de NO_3 au printemps.

4.4 Autres recherches

4.4.1 Vérification des modèles de flux des gaz à effet de serre à diverses échelles
E. Pattey et R.L Desjardins

Les agroécosystèmes au Canada sont responsables de 13 % des émissions anthropiques totales, à en juger par les estimations de 1996. Il s'agit de 30 % de CO_2, de 25 % de CH_4 et de 45 % de N_2O. La quantité totale est assez faible, mais elle est significative dans la mesure où les agroécosystèmes subissent une gestion intensive et qu'il est possible de réduire ces émissions sans occasionner de problèmes graves aux producteurs agricoles.

On élabore des techniques de mesure depuis plus de 30 ans, mais nos connaissances sur les sources et les puits des gaz à effet de serre sont encore très limitées. Cela est dû aux difficultés associées à l'extrapolation des mesures du

flux dans l'espace et le temps. Ainsi, les estimations régionales, nationales et mondiales des flux sont encore très peu fiables.

On a utilisé plusieurs techniques et plates-formes micrométéorologiques pour mesurer les flux des gaz à effet de serre. Les mesures ponctuelles sont prises au moyen d'enceintes, les mesures dans un champ sont faites à partir d'une tour et les mesures à l'échelle régionale sont fournies par des aéronefs.

On s'entend généralement sur le fait qu'il sera de plus en plus important d'utiliser une approche faisant appel à plusieurs techniques micrométéorologiques pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre à partir d'emplacements précis. Cette approche doit faire appel à des enceintes et à des tours de mesure des flux, à un échantillonnage dans la couche limite par ballon ou aéronef, ainsi qu'à la télédétection et à la modélisation pour intégrer et extrapoler les données à des échelles plus vastes.

Étant donné l'intermittence des émissions de gaz à effet de serre et les échelles en jeu, il est essentiel de disposer de modèles pour obtenir des estimations à l'échelle régionale et nationale. On teste présentement plusieurs modèles servant à mesurer les modifications de la teneur du sol en C et les émissions de N_2O à partir de sources agricoles. Pour améliorer la précision des estimations des émissions de CH_4, il faut améliorer les estimations des émissions ponctuelles.

Une autre approche semble prometteuse pour valider les modèles de teneur en C du sol : on compare les réponses de modèles sur une longue période avec les mesures réelles. Il s'agit de comparer les estimations des modèles et des mesures du flux de CO_2 au cours des diverses saisons, et de comparer également les observations des modifications réelles de la teneur en C du sol sur plusieurs années et les données de modèles appliqués durant la même période.

Pour aider le Canada à s'acquitter de ses engagement à Kyoto, il faut améliorer notre capacité d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre. Il faut également un système élaboré de validation pouvant être utilisé à des échelles très variées. On y arrivera en coordonnant les mesures prises à l'intérieur d'une écozone et dans différentes écozones. En effectuant des expériences poussées à l'échelle du champ, de la ferme et de la région avec différentes plates-formes dans des conditions environnementales et des pratiques de gestion typiques, nous pourrons améliorer notre compréhension des processus de mise à l'échelle et accroître notre confiance dans les estimations des émissions de gaz à effet de serre. La démarche est essentielle pour mesurer quantitativement le rôle de l'agriculture dans le changement climatique, pour prédire la réponse des agroécosystèmes au changement climatique et pour proposer des mesures appropriées de réduction des émissions.

4.5 Détermination des lacunes dans les connaissances et des domaines qui nécessitent de plus amples recherches ou analyses

Tout au long de la préparation du présent document, on a relevé les domaines où il conviendrait de procéder à des recherches plus approfondies concernant les moyens de réduire ou de gérer les émissions de gaz à effet de serre en agriculture :

- effets des méthodes de réduction d'un gaz particulier sur les concentrations des autres gaz;
- recours aux cultures d'hiver;
- plantation de cultures vivaces;
- préparations d'engrais;
- légumineuses;
- autres moyens de réduire la consommation de combustibles fossiles;
- mesures de réduction adoptées par l'industrie alimentaire.

5. Mesures possibles de réduction des émissions

5.1 Projets d'adaptation, de réduction et de recherche pour limiter les dangers des gaz à effet de serre

5.1.1 Gaz à effet de serre produits par l'agriculture et engagements pris par le Canada à Kyoto
Charles Mrena

Le protocole de Kyoto résulte d'un consensus au sein des nations à l'échelle de la planète sur le fait que le changement climatique causé par les activités humaines constitue certainement un risque et que des mesures concrètes doivent être prises. Le Canada a accepté de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de six pour cent par rapport à celles de 1990 d'ici 2008-2012. La contribution de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre est faible comparativement à celle de l'industrie, mais elle est néanmoins considérée comme significative. L'impact peut être attribué à l'intensification de l'agriculture depuis la Seconde Guerre mondiale; avec la réduction du nombre de personnes qui travaillent la terre, il a fallu utiliser davantage de sources énergétiques fossiles et chimiques et la charge de bétail a beaucoup augmenté.

Au Canada, en 1996, les émissions de sources agricoles ont contribué pour environ 10 p. 100 des émissions totales de gaz à effet de serre. On a estimé que les principales sources sont la fermentation entérique (55 p. 100), les sols agricoles (24 p. 100) et le fumier (21 p. 100). La fermentation entérique et les émissions provenant des déchets animaux sont parmi les sources les plus importantes de méthane et ont contribué dans l'ensemble pour environ 27 p. 100 des émissions de méthane au Canada en 1995. Après la rédaction du présent article, AAC a publié un document sur la salubrité de l'air qui renferme des données plus récentes.

5.1.2 Comptabilisation des gaz à effet de serre du GIEC par rapport à l'agriculture
Marie Boehm et Ira Altman

Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a produit, en 1996, des lignes directrices révisées pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, qui fournissent des données détaillées sur la façon dont les pays doivent rendre compte de leurs émissions de gaz à effet de serre, secteur par secteur. En 1997, dans le cadre du Protocole de Kyoto, les directives du GIEC concernant la comptabilisation des émissions des sols agricoles ont été modifiées. Dans l'article 3.3, le Protocole limite les activités qui peuvent agir comme puits de carbone à des activités de foresterie précises, ce qui exclut l'agriculture. L'exclusion de l'agriculture comme puits de carbone désavantage le Canada; en effet, l'adoption de la culture sans travail du sol et d'autres systèmes agricoles de conservation du sol augmente les réserves de carbones dans les sol agricoles. Ces réserves de carbone pourraient compenser les émissions d'autres sources.

Les décideurs doivent savoir que les données de l'inventaire du GIEC sont sectorielles et ne peuvent pas servir à élaborer une politique ou à faire des analyses en agriculture, qui est une activité intersectorielle. La politique concernant la réduction des émissions en agriculture doit être fondée sur les données nettes d'émissions de gaz à effet de serre provenant de l'ensemble des systèmes agricoles.

5.1.3 Les mécanismes de développement propre et l'agriculture
Edward Tyrchniewicz

Le Protocole de Kyoto souligne un certain nombre de « dispositions en matière de souplesse » permettant aux pays de l'annexe 1, comme le Canada, d'atteindre leurs objectifs en matière de réduction des émissions de CO_2 à meilleur coût. Cela comprend : l'investissement dans des activités qui stockent les émissions de carbone (p. ex. séquestration), l'échange de droits d'émissions et les mécanismes de développement propre (MDP). Le présent article traite de l'utilisation éventuelle des MDP dans le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

L'élément essentiel des MDP est qu'ils incitent les pays industrialisés à investir dans les pays en développement dans des projets qui réduisent les émissions nettes de gaz à effet de serre. Les projets admissibles sont habituellement de nature énergétique, comme la construction de petites centrales hydroélectriques ou le remplacement des centrales électriques alimentées au charbon par des turbines au gaz naturel à haut rendement.

Dans le cadre des MDP, les réductions d'émissions de CO_2 sont enregistrées sous forme de crédits qui sont partagés entre les parties à la transaction.

L'application des MDP présente certaines difficultés. Les tenants des MDP, principalement dans les pays industrialisés, soulignent généralement la nécessité de garder les coûts de transaction bas pour rendre le mécanisme attrayant aux yeux du secteur privé. Les pays en développement, par ailleurs, se préoccupent davantage de leur développement durable et accueillent habituellement avec un certain scepticisme les projets menés par le secteur privé. Un autre élément important des MDP est l'établissement de conditions fondamentales dans les pays en développement. Il faudrait rapidement abandonner les interventions axées sur un seul projet de manière à réduire les coûts et les risques des transactions. Il faudrait mettre l'accent sur la vérification et l'intégrité des crédits.

Très peu de documents ont été consacrés à l'application des MDP à l'agriculture. Compte tenu du rôle clé du transfert de technologie dans le processus des MDP, et dans l'hypothèse que les questions d'application pourront être résolues, il est possible d'indiquer certaines technologies applicables à l'agriculture qui méritent d'être examinées. Par exemple, les technologies de gestion du fumier du bétail, les systèmes visant à améliorer l'efficacité énergétique par l'irrigation et les systèmes visant à utiliser les déchets agricoles dans la production de biocarburants.

Compte tenu de la structure de la production agricole, c'est-à-dire la taille des exploitations et le niveau de participation internationale, ainsi que des incertitudes liées à l'application des MDP, il est peu probable que les entreprises agricoles qui émettent des gaz à effet de serre considèrent les MDP comme une approche prioritaire pour accumuler des crédits. De même, il sera également difficile de trouver des partenaires appropriés dans les pays en développement qui seront prêts à envisager de faire appel à des MDP en agriculture.

Aussi, la principale conclusion qui s'impose est que le potentiel d'utilisation des MDP en agriculture est marginal comparativement à d'autres secteurs; il faudra donc que le secteur agricole considère des approches de réduction des gaz à effet de serre plus efficaces.

5.1.4 L'utilisation des terres et changement climatique
Charles Mrena

Les principaux gaz à effet de serre liés à l'agriculture et à l'utilisation des terres sont le dioxyde de carbone et le méthane. Du dioxyde de carbone est émis dans l'atmosphère par suite de la perturbation des sols qui résulte de la réaffectation des terres ou du changement de la technique de gestion des terres. Les milieux humides émettent plus ou moins de méthane selon les propriétés hydrologiques de l'endroit. En outre, la combustion de la biomasse, une pratique liée à la réaffectation de terres forestières en terres agricoles, peut donner lieu à des émissions d'oxyde nitreux.

Au cours des dernières décennies, les pratiques agricoles comme celles axées sur le travail du sol ont fait des terres qui en faisaient l'objet une source nette de dioxyde de carbone. Le travail du sol défait sa structure, ce qui libère du carbone dans l'atmosphère, mais il contribue également à l'érosion, ce qui se traduit par une perte de matière organique et de la capacité du sol de séquestrer le carbone à long terme.

Un changement des pratiques peut modifier le rôle d'un type de terre et faire en sorte qu'une source de gaz à effet de serre devienne un puits. Les pratiques qui favorisent l'accumulation de carbone, comme le travail réduit du sol et l'utilisation de plantes fourragères vivaces, préviennent l'érosion et préservent la productivité des sols. Les pratiques de séquestration du carbone peuvent améliorer la rentabilité des systèmes d'exploitation agricole en augmentant les rendements ou en réduisant les coûts de production. Enfin, les pratiques de séquestration du carbone peuvent également avoir des effets secondaires ailleurs que dans les écosystèmes agricoles. Elles peuvent comporter des avantages sur le plan de la qualité de l'eau et de l'air grâce à une réduction de l'érosion, elles peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur la qualité de l'eau et des incidences éventuelles sur les économies rurales à cause du changement des pratiques agricoles.

Les préoccupations relatives à la perte de matière organique du sol et à la libération nette de carbone dans l'atmosphère ont donné lieu à de nouvelles recherches sur les pratiques culturales et à l'application de méthodes de

culture avec travail réduit ou sans travail du sol. Les résultats préliminaires indiquent que ces méthodes peuvent conserver et même augmenter la capacité du sol d'emmagasiner le carbone. Par conséquent, ces techniques peuvent réduire ou éliminer les effets négatifs de l'agriculture sur le bilan du carbone.

5.1.5 Incidences possibles du changement climatique sur l'agriculture canadienne

Les incidences possibles du changement climatique sur l'agriculture se traduiront plus directement par la réaction des cultures, du bétail, des sols, des mauvaises herbes, des insectes et des maladies aux éléments du climat auxquels ils sont les plus sensibles. De nombreuses études ont déjà porté sur les effets possibles du changement climatique sur l'agriculture canadienne. L'une d'elles est l'Étude pan-canadienne qui examine les incidences du changement climatique sur diverses régions canadiennes en présumant qu'au cours du prochain siècle, on assistera à une nouvelle hausse de 1 à 3,5 ° C.

Toutefois, jusqu'à maintenant, peu d'études ont entièrement pris en compte les changements futurs de la variabilité climatique, de la disponibilité de l'eau et des nombreuses façons dont les agriculteurs pourraient réagir au changement climatique. Ces facteurs risquent d'avoir une importance égale à celle des effets directs du changement climatique lui-même. Si des stratégies d'adaptation appropriées sont élaborées et mises en oeuvre en temps utile, la vulnérabilité globale d'une région pourrait en être réduite. Toutefois, des incertitudes persistent quant à la faisabilité et à l'efficacité des adaptations technologiques.

5.1.5.1 Températures plus chaudes

À mesure que le climat se réchauffe, on assiste à un déplacement vers le nord des différents types de culture. Au Canada, le réchauffement planétaire pourrait allonger la saison de croissance, autorisant ainsi un ensemencement plus précoce au printemps, une croissance plus rapide des cultures et une récolte plus hâtive, et permettant de faire deux récoltes ou plus pendant la même saison. Les superficies productives pourraient s'étendre vers le nord, même si les rendements aux latitudes plus élevées risquent d'être inférieurs à cause de la fertilité moindre des sols de ces régions.

5.1.5.2 Ravageurs et maladies

Les conditions pourraient devenir plus favorables à la prolifération des insectes sous des climats plus doux. Une saison de croissance plus longue pourrait en outre permettre aux insectes d'effectuer un nombre plus grand de cycles de reproduction au printemps, en été et en automne. Des températures hivernales plus clémentes pourraient permettre aux larves de survivre à l'hiver dans certaines régions où leur propagation est actuellement limitée par le froid, provoquant ainsi des infestations plus graves au cours de la saison de croissance suivante. Une configuration des vents modifiée pourrait influer sur la propagation des ravageurs ainsi que des bactéries et des champignons pathogènes des cultures. Les interactions entre les cultures et les ravageurs pourraient subir les effets d'un changement de la chronologie des stades de développement des hôtes et des ravageurs. Les changements pourraient également influer sur les maladies du bétail. Une augmentation possible des infestations de ravageurs pourrait nécessiter une utilisation plus grande de pesticides chimiques, ce qui exigerait la mise au point et l'application de nouvelles méthodes de lutte intégrée.

5.1.5.3 Effets d'une teneur en CO_2 plus élevée sur les rendements des récoltes

La production de cultures comme le soja et le blé devrait augmenter en moyenne de 30 p. 100 par suite d'une multiplication par deux des concentrations de CO_2 (le blé et le soja appartiennent à une classe physiologique de végétaux qui réagissent rapidement aux hausses des teneurs en CO_2). L'ampleur de cette réaction sera hautement variable et dépendra de la disponibilité des matières nutritives, de la température et des précipitations.

5.1.5.4 Variabilité du climat

Outre l'augmentation des températures et des précipitations quotidiennes et interannuelles, les chercheurs s'entendent pour prévoir une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques inattendus et nuisibles (p. ex., grêle, crues éclair, pluies très fortes). Non seulement ces événements risquent-ils de causer des dommages énormes à la propriété, mais les sécheresses, les inondations et les risques accrus de destruction par l'hiver pourraient accroître la fréquence et la gravité des récoltes déficitaires. La violence croissante des événements météorologiques préoccupe l'industrie de l'assurance, ainsi que les réassureurs qui doivent finalement rembourser les pertes subies. En conséquence, l'industrie de l'assurance participe aujourd'hui activement à toutes les rencontres portant sur la convention sur le changement climatique.

5.1.6 Adaptation de l'agriculture canadienne au changement climatique
Allen Tyrchniewicz

Le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 6 p. 100 par rapport à celles de 1990. Le secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire devra réduire ses émissions de gaz à effet de serre pour aider le Canada a remplir ses engagements en vertu du Protocole de Kyoto. On dispose de deux stratégies pour réagir face au changement climatique prévu : la réduction et l'adaptation. Les mesures de réduction, qui s'attaquent à la cause du changement climatique, sont en général de trois types : réduire les sources de gaz à effet de serre; maintenir les puits existants de gaz à effet de serre et accroître ces puits. L'adaptation est liée aux réactions face aux effets du changement climatique. Elle consiste à prendre des mesures pour contrer les effets négatifs prévus ou réels du changement climatique.

Le secteur agricole doit s'efforcer de réduire ses émissions de gaz à effet de serre, mais il doit également s'adapter au changement climatique pour trois raisons principales. La première est que le climat change et que les techniques de production doivent changer également. Deuxièmement, la politique générale en matière d'agriculture va changer pour aider le Canada à atteindre ses objectifs en vertu du Protocole de Kyoto. Enfin, mais plus être plus important, les agriculteurs doivent assurer la subsistance de leur familles et continuer à produire des aliments et des fibres. En s'adaptant au changement climatique maintenant, le secteur agricole pourra profiter des avantages immédiats du changement climatique prévu tout en réduisant ses coûts.

Le secteur de l'agriculture n'aura pas seulement à s'adapter aux aspects physiques du changement climatique, mais également aux changements de politique liés aux changement climatique en agriculture et dans les secteurs connexes. L'évaluation des incidences du changement climatique en ce qui a trait à la politique agricole est difficile à cause des interactions complexes entre les pratiques d'utilisation des terres et les changements dans les émissions de gaz à effet de serre. Les politiques agricoles ont une incidence sur les pratiques agricoles comme l'utilisation des terres, l'utilisation des engrais, l'irrigation et les activités du bétail; elles déterminent également si l'agriculture est une source ou un puits de gaz à effet de serre. En éliminant les politiques qui ont un impact négatif sur les changements d'utilisation des terres, comme celles qui favorisent l'utilisation d'une plus grande superficie de terres marginales pour la culture agricole, on fera en sorte que les terres agiront plutôt comme puits que comme source de gaz à effet de serre.

L'adaptation au changement climatique et l'élaboration de politiques pertinentes en la matière exigent de l'information. L'information doit arriver à point, elle doit être fiable et accessible à quiconque en a besoin. Pour gérer efficacement les changements climatiques qui auront un impact sur l'agriculture, il faudra disposer de techniques qui tiennent compte des variables du changement climatique et du climat politique. Les modèles de climat s'améliorent, mais ils produisent habituellement des données qui s'appliquent à une échelle qui dépasse les besoins de l'utilisateur moyen. Par ailleurs, ils ne se préoccupent pas d'autres aspects du changement climatique, par exemple les aspects économiques et sociaux. Pour étudier l'adaptation, il faut des modèles qui tiennent compte des systèmes sociaux, économiques et physiques. Les modèles doivent être élaborés à partir de l'expérience que nous possédons en matière d'adaptation : les changements liés aux politiques, au climat, à la technologie et aux marchés. C'est avec de tels modèles qu'on pourra prédire les résultats des politiques avant de les appliquer.

L'adaptation a eu du succès sous beaucoup d'aspects au cours de sa période de développement dans le secteur de l'agriculture au Canada. Les agriculteurs ont réussi à adapter leurs pratiques de production et de gestion à divers changements, par exemple à des changements technologiques, politiques et météorologiques, mais les techniques d'adaptation ne sont pas toujours durables ou fructueuses. Des recherches particulières sur le climat devront être faites pour souligner les impacts dans chaque région agricole du Canada. Il faudra également faire des recherches sur les cultures et le bétail à partir des modèles de changement climatique. L'amélioration des prévisions climatiques est un atout, mais les agriculteurs, entre autres, ont besoin de prévisions météorologiques à long terme. Enfin, le pas le plus important que le secteur de l'agriculture doit franchir pour s'adapter au changement climatique, c'est la réorientation des politiques touchant l'agriculture. Le Canada doit indiquer le plus tôt possible les grandes lignes de sa stratégie en matière de changement climatique pour que la communauté agricole se fasse une idée de l'adaptation qui l'attend.

5.1.7 Quelle sera l'influence de la politique sur les gaz à effet de serre sur la compétitivité de l'agriculture canadienne?

Allen Tyrchniewicz

L'agriculture canadienne doit comprendre quel sera l'impact de l'adaptation au changement climatique sur sa compétitivité. Il est difficile de déterminer la compétitivité de l'agriculture canadienne sur le marché international, car plusieurs variables entrent en jeu. On peut évaluer la compétitivité à plusieurs niveaux : international, national, sectoriel, et même au niveau de l'entreprise. Aux fins de la présente discussion, nous allons considérer la compétitivité de l'agriculture canadienne à l'échelle internationale tout en considérant également les incidences sur le plan national.

Le Canada exporte une part importante de sa production agricole, et dépend donc étroitement des marchés étrangers pour soutenir son agriculture. Les ministres canadien et provinciaux de l'agriculture et de l'agroalimentaire ont fixé à 4 p. 100 l'objectif en matière d'exportation dans le domaine de l'agriculture à l'échelle mondiale d'ici 2005. Cet objectif se traduirait par des ventes à l'exportation de l'ordre de 30 à 40 milliards de dollars, selon la croissance du marché mondial et les prévisions concernant les taux de change, comparativement à 20 milliards de dollars en 1996. Pour augmenter sa part de marché dans le secteurs de l'agriculture et des secteurs connexes, le Canada devra se concentrer davantage sur l'exportations de produits à valeur ajoutée plutôt que de produits en vrac. Avec les techniques actuelles de production et de transformation agricole, l'augmentation de la transformation et de la production sera en conflit direct avec l'objectif de réduction des gaz à effet de serre formulé dans le Protocole de Kyoto. Pour atteindre ces deux objectifs, il faudra adopter des techniques de production qui exigent moins d'énergie tirée du carbone. Les marchés internationaux seront encore plus compliqués à suivre, car l'offre et la demande de produits agricoles subira les contrecoups des réactions au changement climatique dans d'autres régions du globe. Il faut une bien meilleure compréhension des incidences mondiales du changement climatique.

Au niveau national, la compétitivité de l'agriculture canadienne dépendra de la façon dont le Canada réagira face aux aspects physiques du changement climatique et au Protocole de Kyoto. L'adaptation sera nécessaire au niveau des impacts sur les secteurs du transport, de l'énergie et des engrais, pour n'en nommer que quelques-uns. Les politiques gouvernementales relatives au changement climatique devront tenir compte d'un certain nombre de ces impacts pour éliminer les obstacles qui nuisent au secteur agricole et éviter que d'autres n'apparaissent.

Le secteur agricole lui-même devra, face au changement climatique, élaborer des stratégies visant à réduire les conflits directs avec la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Les stratégies qui éliminent la dépendance envers l'énergie tirées du carbone, par exemple, pourront réduire les coûts des facteurs de production tout en contribuant à la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre. La compétitivité de l'agriculture au niveau national et international en sera améliorée.

Les agriculteurs et les transformateurs devront être informés sur le changement climatique et les changements qui en résulteront sur les marchés pour rester compétitifs. Par ailleurs, les agriculteurs et les transformateurs devront également être mieux renseignés sur les facteurs de production et les structures de coûts en évolution pour élaborer leurs propres plans d'affaire.

5.1.8 Aspects complémentaires et contradictoires des politiques relatives aux gaz à effet de serre et à l'agriculture

Edward Tyrchniewicz

De par leur nature même, les politiques gouvernementales créent des conflits. Il y a des « gagnants » et des « perdants », tout comme il y a des impacts prévus et imprévus. Pourtant, dans certains cas, des politiques et des programmes peuvent créer des situations parfaites où chacun y trouve son compte. Le présent article a pour objet d'examiner, sur le plan conceptuel, la notion de complémentarité et de conflit dans les politiques liées aux émissions de gaz à effet de serre en agriculture.

Les décideurs ont la tâche d'analyser les impacts des politiques existantes et proposées et d'offrir des solutions réalistes. Une politique a généralement trois types d'impacts: des impacts économiques, environnementaux et sociaux. Sur le plan économique, une politique a habituellement comme objectif d'améliorer les revenus ou de les redistribuer. Des conflits surviennent dans le champ d'application de la politique. L'impact environnemental d'une politique se fait habituellement sentir sur la quantité et la qualité des ressources naturelles, tant à court qu'à long terme. Habituellement les terres, l'eau et l'air sont touchés, mais la faune et son habitat peuvent l'être également. L'impact social d'une politique s'exerce sur les gens, leurs collectivités et leurs institutions et fait intervenir la notion d'équité. Ce qui complique les choses, c'est que la notion d'équité porte habituellement sur la distribution des revenus et sur des objectifs concurrentiels dans l'utilisation des ressources naturelles.

Dans le cadre du Programme des Grandes Plaines de l'Institut international du développement durable (IIDD), on évalue depuis un certain nombre d'années les politiques liées à l'agriculture dans l'optique du développement durable. Il s'agissait de préciser les problèmes en matière d'agriculture et de développement durable qui se présentent dans les Prairies canadiennes et d'élaborer un ensemble de principes et de critères et un plan d'ensemble visant à résoudre les problèmes liés à la durabilité de l'agriculture dans les Prairies. Un processus consultatif a permis de dégager un certain nombre de principes et de critères importants. Les principes du développement durable en agriculture ont été regroupés sous trois grandes catégories : la gouvernance, la viabilité économique et les préoccupations sociales. En y apportant quelques modifications, ce plan d'ensemble et ce processus pourraient s'appliquer à l'évaluation des politiques et instruments existants et proposés en vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture.

Il est généralement admis que, pour atteindre son objectif en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le Canada devra instaurer des mesures d'incitation visant à encourager le secteur privé à adopter des mesures qui vont se traduire par de telles réductions. Un examen de divers documents nous a permis de dégager un ensemble de mesures d'incitation qui peuvent avoir un impact sur les émissions de gaz à effet de serre en agriculture : politiques de conservation favorisant la séquestration du carbone dans les sols, échange de crédits de carbone, subventions visant les carburants et les engrais, et incitatifs fiscaux pour l'élaboration et l'utilisation de technologies qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre.

Il y aura évidemment quelques options qui plairont à tous et auxquelles on ne pourra rien reprocher (qu'on a qualifié de « sans regret », mais certaines mesures pourront générer des conflits dans le secteur agricole même, avec d'autres secteurs économiques et d'autres groupes de la société canadienne. Idéalement, les politiques devraient satisfaire tout le monde, mais en réalité il y aura toujours des conflits. Notre tâche consiste à élaborer des politiques qui vont créer le moins de conflits possible.

5.2 Aspects économiques de diverses pratiques qui pourraient améliorer l'évaluation du potentiel de réduction des émissions

5.2.1 Aspects économiques des techniques de travail réduit du sol et de réduction des jachères sur la production végétale au Canada - Revue des données disponibles

Michael Rossetti and Glenn Fox

Au cours de la dernière décennie, les producteurs de céréales et d'oléagineux ont modifié substantiellement leurs pratiques en matière de travail réduit du sol. Auparavant, les producteurs travaillaient le sol mécaniquement pour lutter contre les mauvaises herbes et pour préparer le lit de semence. Cette approche assurait généralement aux producteurs des revenus plus élevés et plus stables à court terme. Plus récemment, les améliorations apportées à la technologie et aux pratiques de gestion du sol ont incité les producteurs à réduire le travail mécanique du sol et à réaliser ainsi des économies sur les coûts de production. En outre, les préoccupations croissantes à propos des effets à long terme des pratiques classiques de travail du sol sur la qualité du sol et des effets hors ferme du déplacement des sédiments que cela occasionne ont constitué des problèmes importants à l'échelle régionale.

L'utilisation croissante des pratiques de travail réduit du sol au cours des dix dernières années peut être attribuée à plusieurs facteurs. L'accessibilité de plus en plus grande au matériel requis pour placer les semences et les engrais dans des résidus de culture grossiers, l'amélioration de la gestion des résidus, l'utilisation d'herbicides totaux et la réduction de la dose recommandée qui ont réduit les coûts de production, ainsi que l'amélioration de la lutte contre les mauvaises herbes et les maladies sont tous des facteurs qui ont contribué à améliorer le rendement économique du travail réduit du sol.

Le travail réduit du sol offre également des avantages sur le plan de la conservation du sol, comparativement aux pratiques classiques. Les systèmes de travail réduit du sol font appel au chaume fixé dans le sol pour réduire l'érosion par l'eau et le vent, conservent l'humidité du sol et maintiennent la qualité des éléments nutritifs. La culture sans travail du sol, tout en maintenant ou améliorant la qualité du sol, permet une plus grande séquestration du carbone et réduit la quantité de dioxyde de carbone libérée dans l'atmosphère dans les cas de rotation prolongée de cultures.

Un autre avantage du travail réduit du sol est que le producteur passe moins de temps à transporter, souvent sur les routes, du matériel agricole d'un champ à l'autre. Le producteur peut ainsi réaliser des économies de taille dans la production de ses cultures. Les terres louées sont aussi devenues plus concurrentielles dans beaucoup de régions, car il devenu rentable pour les producteurs de se déplacer plus loin dans la mesure où moins d'opérations sont nécessaires dans les champs.

Malgré la quantité de recherches qui montrent les avantages de la culture sans travail du sol, le taux d'adoption de cette pratique connaîtrait un ralentissement dans l'est du Canada si l'on en croit les données disponibles et les experts locaux. En outre, le travail réduit du sol pourrait même être à la baisse aux États-Unis. Le travail réduit du sol peut souvent entraîner une réduction de certains coûts, notamment ceux de carburant, mais il peut également s'accompagner d'une réduction du rendement dans certains cas. De plus, la lutte antiparasitaire peut exiger d'utiliser davantage de produits chimiques dans les systèmes de culture sans travail du sol ou avec travail réduit du sol. Par ailleurs, certaines données indiquent que les champs où le travail du sol est réduit peuvent perdre une plus grande quantité de nitrates dans la nappe phréatique.

Il faut poursuivre les recherches dans certains domaines de façon à améliorer le rendement économique de la culture sans travail du sol. Ainsi, il faudra : a) améliorer les méthodes de conservation de l'eau dans le sol et de gestion du chaume pour augmenter davantage le rendement des cultures sur une base régulière; b) déterminer si les recommandations actuelles relatives aux engrais azotés sont valables, étant donné qu'elles ont été élaborées pour des systèmes de travail de conservation du sol; c) élaborer des programmes plus efficaces en matière d'herbicides et de méthodes d'application pour lutter contre les mauvaises herbes et utiliser des doses plus faibles; d) essayer de nouvelles cultures en rotation avec les céréales de manière à prolonger et à diversifier les rotations; e) déterminer les effets à long terme des méthodes de travail de conservation du sol sur la qualité du sol et l'environnement. En général, il faudra davantage de recherches empiriques pour mieux comprendre les effets globaux des systèmes de

travail réduit du sol sur l'utilisation de l'énergie dans la production agricole et étudier plus à fond les résultats économiques des systèmes de travail réduit du sol à la lumière des récentes innovations en matière de technologie et de gestion.

5.2.2 Facteurs économiques liés aux systèmes modifiés de manutention du fumier ayant pour but de réduire les gaz à effet de serre

Gregory De Vos, Alfons Weersink, Peter Stonehouse

Un certain nombre de gaz ayant des incidences importantes sur l'environnement sont associés aux étables à bestiaux, au stockage du fumier et à l'épandage du fumier dans les champs. Les gaz libérés dans l'atmosphère par les étables, les systèmes de gestion du fumier et les systèmes d'épandage de fumier utilisé pour amender les sols peuvent avoir des incidences locales et contribuer à la pollution de l'air, du sol et de l'eau. Certains de ces gaz sont également une source de preoccupation au niveau mondial, car ils contribuent au réchauffement de la planète et à la destruction de l'ozone stratosphérique. Les choix de gestion ayant trait à la production, au stockage et à l'épandage du fumier peuvent avoir un effet sur la concentration de ces gaz. Toutefois, les pratiques que choisissent les producteurs, et les niveaux de pollution qui y sont liés, varient en grande partie en fonction de la rentabilité de l'exploitation plutôt qu'en fonction des préoccupations environnementales extérieures à l'exploitation.

Pour un producteur, les avantages nets du fumier sont négatifs; il s'agit d'un déchet qu'il faut éliminer au moindre coût possible. Par conséquent, pour réduire les dommages que cause le fumier à l'environnement, les décideurs devront encourager l'adoption de pratiques visant à réduire les éléments nutritifs dans le fumier. Pour réduire les émissions, on pourra : a) modifier la teneur en éléments nutritifs du fumier en modifiant les rations ou en adoptant un système d'alimentation à paliers multiples; b) adapter le mode de stabulation et les systèmes de stockage du fumier; c) réduire l'application d'ammoniac, comme dans l'incorporation de fumier. Les mesures visant à réduire la teneur en N du régime sont les moins coûteuses par unité de réduction d'émission, alors que celles visant à réduire la volatilisation de l'ammoniac à partir des étables et des systèmes de stockage sont les plus coûteuses. Ces coûts varient de façon notable d'un type d'exploitation à l'autre et d'une région à l'autre; cela signifie que des politiques ciblées et une certaine souplesse dans le choix des mesures de réduction seront plus rentables qu'une réglementation uniforme. Pour adopter des politiques efficaces, il faudra recueillir davantage de données sur les coûts et les incidences environnementales des diverses mesures disponibles.

5.2.3 Faisabilité économique de la modification des aliments des ruminants et de la gestion du rumen en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre

Scott R. Jeffrey

Le présent article examine et évalue les méthodes permettant de réduire les émissions de méthane des ruminants. Dans le secteur de l'agriculture, la production de bétail à des fins commerciales (notamment la production de ruminants) a été signalée comme une source notable de méthane, lequel est un gaz à effet de serre important. Les chercheurs ont trouvé et étudié des méthodes efficaces pour réduire les émissions de méthane des ruminants. Il ne fait aucun doute que l'on peut réduire les émissions de méthane des ruminants par une combinaison de méthodes faisant appel à la gestion directe du rumen et de son contenu, à des modifications alimentaires et à l'amélioration de la productivité animale.

L'approche la plus prometteuse à court terme est l'amélioration de la productivité dans l'élevage et la production laitière. Cette stratégie a l'avantage de réduire les émissions de méthane par unité de production tout en présentant des avantages visibles et importants du point de vue de la gestion de l'exploitation.

L'amélioration de la productivité semble être l'approche la plus populaire auprès des producteurs de bétail, mais il faudra mener de recherches sur les coûts et la rentabilité des solutions de remplacement.

5.2.4 Les aspects économiques des biocarburants

Ewen Coxworth et Andre Hucq

Les biocarburants comprennent une gamme variée de produits énergétiques, allant des déchets de bois aux carburants synthétiques tels l'éthanol, les esters méthyliques des huiles végétales et le méthanol. Avec les préoccupations et l'intérêt croissants liés au changement climatique mondial, un certain nombre d'études à l'échelle mondiale et nationale visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre ont étonnamment insisté sur la production de biocarburants, en complément de l'amélioration de l'efficacité énergétique de toutes les activités nécessitant de l'énergie. Il faudrait pour cela accroître considérablement la production de matières premières liées à la biomasse dans le monde, avec des effets importants sur l'agriculture, l'agroforesterie et la foresterie.

Le présente article énonce brièvement quelques problèmes liés à l'agriculture canadienne. Il s'agit de la quantité de biocarburants produits à partir de matières premières agricoles, de leur production probable dans un avenir rapproché, des comparaisons avec la quantité totale bioénergie utilisée dans l'économie canadienne, des comparaisons avec les besoins de carburant en agriculture, des émissions de gaz à effet de serre des biocarburants, notamment les émissions résultant de la production des matières premières, des économies actuelles, des méthodes de réduction des coûts des biocarburants, des stimulants fiscaux actuels et des avantages connexes, de la technologie future et des perspectives concernant la réduction des coûts et des émissions de gaz à effet de serre.

5.3 Avantages connexes de la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Les techniques décrites dans le présent document servent principalement à réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais elles présentent souvent des avantages supplémentaires.

Travail réduit du sol : Amélioration de la qualité de l'eau; réduction du ruissellement et de l'érosion, réduction des émissions de particules; baisse de la fréquence de la pourriture des racines dans les cultures de blé soumises à un système de culture sans travail du sol; baisse des coûts de main-d'oeuvre, de carburant et de machinerie; réduction de la compaction du sol; amélioration de l'infiltration de l'eau; amélioration à long terme de la productivité du sol et des cultures.

Lutte contre l'érosion : Rendements accrus; amélioration de la qualité de l'eau; besoins réduits en fertilisants; maintien de la structure du sol.

Gestion des sols : Conservation de la fertilité des sols.

Additifs alimentaires pour le bétail : Coût réduit de la production d'aliments, taux de production accru et baisse de la production de méthane.

Digesteurs anaérobies : Facture énergétique réduite; recettes tirées de sous-produits de fumier de haute qualité; économies réalisées sur la manutention du fumier, réduction des odeurs, lutte plus efficace contre les mouches; amélioration de la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Il est également possible d'envisager l'intégration dans le système de la production d'algues ou de lenticule mineure pour remplacer les aliments commerciaux par cette source alimentaire aquatique à haut rendement en protéines.

Pratiques de gestion des engrais : Baisse de la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines, réduction du coût des engrais, amélioration du rendement des récoltes.

Bioéthanol : Production de sous-produits de haute qualité comme les drêches de distillerie, un supplément alimentaire de grande valeur pour le bétail.

Gestion du fumier : Réduction des émissions d'ammoniac.

5.4 Activités particulières du gouvernement et de l'industrie requises ou en cause, possibilités d'atténuation des incidences négatives éventuelles déterminées pour les secteurs et de mise à profit des avantages possibles

Les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre présentent des avantages supplémentaires importants comme la réduction de la pollution atmosphérique locale et régionale, de la dégradation des terres, de l'engorgement des routes, etc. Des études réalisées en Europe et en Amérique du Nord indiquent que ces avantages peuvent soustraire au moins 30 p. 100 des coûts des mesures appliquées, ou, comme dans le cas du Royaume-Uni, 100 p. 100.

Les mesures « sans regret » sont celles dont les avantages – par exemple, réduction des coûts de l'énergie ou autres avantages environnementaux et économiques – égalent ou surpassent leurs coûts pour un pays, à l'exclusion des avantages obtenus au chapitre de la lutte contre le changement climatique. Ces mesures sont valables de toute manière.

5.4.1 Instruments liés au marché pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture
Allen Tyrchniewicz

On a fait appel à des instruments liés au marché pour atteindre divers objectifs dans de nombreux domaines d'intérêt public. Le présent article examine la possibilité d'utiliser des instruments liés au marché pour aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture. Le Canada peut utiliser un attirail complexe de mesures pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Pour déterminer l'efficacité des instruments liés au marché à réduire les émissions de gaz à effet de serre, il faut examiner trois choses. Premièrement, il faut établir les types de gaz à effet de serre associés à la production et à la transformation agricoles. Deuxièmement, il faut passer en revue les différents types d'instruments liés au marché. Enfin, il faut déterminer s'il est possible d'utiliser ces instruments dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture. Les résultats de ce processus nous indiqueront les instruments liés au marché qu'il convient d'utiliser pour réduire les émissions de gaz à effet de serre associés à la production et à la transformation agricoles.

Le Groupe de travail sur le changement climatique a souligné un certain nombre de mesures qui pourraient être prises pour réduire les émissions de gaz à effet de serre au Canada. Le présent article aborde trois instruments liés au marché qui pourraient être utilisés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture : l'échange de droits d'émission de certaines substances, l'échange de crédits de carbone et les servitudes de conservation.

L'échange de droits d'émission permet à une partie d'acheter des droits d'émettre un gaz à effet de serre d'une autre partie qui a été capable de réduire ses émissions au-delà de la quantité qui lui avait été fixée. L'échange de droits d'émission fonctionne bien dans les cas où les points d'émission sont connus et que les émetteurs sont distincts.

L'échange de crédits de carbone est habituellement utilisé lorsqu'une norme de réduction est inapplicable par suite de différences importantes chez les émetteurs et lorsque les coûts des mesures de réduction diffèrent énormément. L'échange de crédits est lié à un projet, et chaque échange doit être surveillé et certifié en fonction des éléments suivants : niveau d'émission de référence, niveau d'émission autorisé, plan de réduction et mécanismes d'application. Le gouvernement ou une autre instance doit surveiller chaque transaction et vérifier que toutes les exigences sont satisfaites. L'échange de crédits est conçu pour de nombreux intervenants, des intervenants qui émettent et des intervenants qui réduisent leurs émissions.

Une servitude de conservation est un accord juridique en vertu duquel un propriétaire foncier restreint ou limite volontairement le type et l'ampleur de l'aménagement de sa propriété. Les servitudes de conservation peuvent servir à préserver l'habitat de la faune, les espaces ouverts ou les terres agricoles, ou encore les caractéristiques historiques d'un immeuble, tout en permettant aux propriétaires de continuer à détenir et à utiliser leur propriété.

Le Canada doit trouver des instruments liés au marché qui pourront servir efficacement à réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture. Tous les instruments liés au marché ont leur place, mais ils exigent tous de meilleures méthodes de mesure et de vérification que celles qui existent actuellement.

5.4.2 Mesures d'incitation pour une intervention rapide et un échéancier optimal des politiques relatives aux gaz à effet de serre en agriculture

Richard Gray et Dan Monchuk

L'engagement pris à Kyoto, s'il est respecté, aura un effet important sur l'économie canadienne et exigera un investissement important dans la plupart des secteurs. Ces investissements représentent des coûts irrécupérables. Avec l'incertitude financière qui entoure les mesures d'incitation relatives à la réduction des émissions, les entreprises privées ont tendance à faire preuve de souplesse et à retarder l'investissement jusqu'à l'obtention de données plus explicites. Par ailleurs, étant donné les ressources et le temps requis pour mettre au point et adopter de nouvelles technologies, il est important de faire certains investissements au plus tôt. Le gouvernement devra peut-être envisager des programmes ou des politiques de nature à accélérer le processus d'adoption de manière à éviter des ajustements futurs qui pourraient se révéler coûteux et veiller à ce que les technologies soient adoptées par une certaine partie du groupe cible à l'intérieure d'un laps de temps défini.

Lorsqu'on envisage d'appliquer des politiques relatives aux émission de gaz à effet de serre, il est important de discuter des investissements à faire par les groupes appropriés. C'est-à-dire que si le capital investi doit être cédé à des fins de récupération ou autres, le coût du capital moins l'amortissement ne sera pas pleinement récupéré. Cela implique qu'avant de faire un investissement, il faudra une certaine dose de certitude à propos des conditions futures ou bien l'investissement ne sera pas consenti. Cela signifie que le gouvernement doit prendre des engagements à long terme, sinon il y aura moins d'incitation à investir. De tels engagements à long terme contribuent à réduire l'incertitude future et réduisent par le fait même la tendance à retarder l'investissement.

Un certain nombre de facteurs différents font obstacle à l'application des politiques relatives à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dont a besoin le Canada pour se conformer au protocole de Kyoto. Les principaux facteurs qui influencent l'atteinte de ces objectifs sont l'incertitude, le retard manifeste entre l'action et les résultats et la détermination des approches optimales requises pour les interventions, les mesures d'incitation et les structures de pénalité. Pour déterminer l'approche optimale, il faut bien comprendre les nombreux facteurs en jeu, comme par exemple de déterminer si le secteur agricole canadien doit s'engager dans un programme qui pourrait éventuellement limiter les gains qu'il aurait pu réaliser dans l'avenir par un accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Un petit nombre des facteurs importants sont connus avec un certain degré de certitude, mais il reste beaucoup à faire avant de déterminer la meilleure voie à suivre pour le secteur agricole canadien.

5.4.3 Instruments de politique hors-marché pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre en agriculture

Don Buckingham et Cynthia Kallio Edwards

L'utilisation d'instruments de politique liés au marché ou hors-marché pour réduire et résoudre les problèmes environnementaux ont augmenté au cours des dernières décennies. Les instruments liés au marché favorisent la création ou l'amélioration d'un marché qui connaît des problèmes; par contre, les instruments hors-marché tentent d'influencer le comportement du pollueur par des mécanismes qui ne sont pas déterminés par le libre choix des acheteurs et des vendeurs.

Les instruments hors-marché peuvent être classés globalement en trois groupes, dont chacun exige une intervention gouvernementale à des degrés divers : 1) les programmes volontaires; 2) les mesures d'incitation financières et les taxes et 3) les normes prescriptives.

Les programmes volontaires comprennent ceux qui visent à éduquer les producteurs et les consommateurs, à établir des liens entre les producteurs et les consommateurs de manière à encourager les pratiques écologiques chez les consommateurs et à établir des liens entre les gouvernements et les producteurs concernant les procédés de production qui encouragent les pratiques respectant l'environnement.

D'autres approches économiques hors-marché font couramment appel à des mesures d'incitation financières pour corriger les problèmes environnementaux. De nos jours, les gouvernements utilisent des instruments de nature

davantage économique, principalement parce que les instruments classiques de réglementation directe ont échoué face aux problèmes environnementaux. Les taxes sur le carbone et l'énergie pourraient s'appliquer directement à l'agriculture. Mais de telles taxes sont parfois difficiles à appliquer et sont souvent impopulaires. En outre, une taxe sur les carburants fossiles peut à première vue sembler un choix logique pour réduire les émissions de carbone, mais le processus de production agricole est trop complexe pour présumer qu'une taxe d'application générale peut réussir à réduire les émissions de CO_2 du secteur agricole.

Les approches coercitives sont à la base des méthodes d'intervention de tous les gouvernements qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Des normes prescriptives sont nécessaires pour asseoir les instruments liés au marché qui se traduiront par des mécanismes d'échange d'émissions. Toutefois, des approches hors-marché peuvent également faire intervenir des normes prescriptives visant à réduire les pratiques inacceptables les plus évidentes et, dans ce cas, elles sont souvent appliquées de manière générale. Il peut en résulter des injustices relatives aux coûts d'application et il est rare qu'elles encouragent davantage l'innovation au delà d'une norme prescriptive.

Pour déterminer quels instruments hors-marché pourraient être les plus efficaces pour susciter un comportement tendant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en agriculture, il faut élaborer une méthode d'évaluation ou un modèle. Il faudra de plus amples recherches pour déterminer comment comparer un instrument par rapport à un autre sur le plan de l'efficacité. De plus, il faut étudier la question d'un point de vue constitutionnel pour déterminer quel palier de gouvernement peut appliquer efficacement ces instruments hors-marché. Enfin, les instruments hors-marché n'offrent pas une solution complète aux problèmes relatifs à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils doivent être utilisés de concert avec des instruments liés au marché pour constituer des solutions efficaces. Il faudra de plus amples recherches pour déterminer comment ces deux types d'instruments — liés au marché et hors- marché — et les dispositions institutionnelles pour les appliquer pourront être utilisés efficacement de concert pour obtenir l'impact maximum sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole.

5.5 Détermination des lacunes dans les connaissances actuelles qui doivent être comblées afin de poursuivre l'évaluation des possibilités de ces mesures

- Interactions entre les efforts de réduction;
- effets intérieurs - liens et conflits;
- effets compensateurs internationaux - liens et conflits;
- élaboration possible d'une stratégie globale à long terme de recherche sur le changement climatique et ses rapports avec le secteur agricole et agroalimentaire;
- informations supplémentaires sur les avantages indirects des efforts de réduction;
- détermination des scénarios envisageables de réduction des émissions, en guise de point de départ pour l'élaboration des options.

6. Prochaines étapes

Les prochaines étapes devraient être déterminées par la table de concertation d'AAC.

Acton, D.F., et L.J. Gregorich (dir. de public.). 1995. La santé de nos sols. Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Publication, 1906/F. (Cité dans le document de fond de la table nationale sur les puits, 1998).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998a. Portrait du circuit agroalimentaire canadien 1997-1998. http://www.agr.ca/policy/epad.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1999. Revenu agricole, situation financière et aide gouvernementale - Recueil de données. Direction de l'analyse économique et des politiques. Direction générale des politiques.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998. Perspectives à moyen terme. Direction de l'analyse économique et des politiques. Direction générale des politiques. http://www.agr.ca/policy/epad.

Asselstine, A., et L. Gerard. 1992. Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada 1990-1991. Direction de la politique et des programmes de protection du revenu agricole. Unité des intrants agricoles commerciaux. Agriculture Canada.

Bouwman, A.F. 1996. Direct Emission of Nitrous Oxide from Agricultural Soils. Nutrient Cycling of Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers.

Bruce, J., M. Frome, E. Haites, H. Janzen, R. Lal, and K. Paustian. 1998. Carbon Sequestration in Soils. Discussion paper by the Soil and Water Conservation Society with input from participants in a workshop on carbon sequestration in soils. Calgary, May 21-22, 1998. (As cited in the National Sinks Table Foundation Paper, 1998).

Coxworth, E., M.H. Entz, S. Henry, K.C. Bamford, A. Schoofs, P.D. Ominski, P. Leduc, and G. Burthon. 1995. Study of the Effect of Cropping Tillage Systems on the Carbon Dioxide Released by Manufactured Inputs to Western Canadian Agriculture: Identification of Methods to Reduce Carbon Dioxide Emissions. Final Report for Agriculture and Agri-Food Canada.

Czepiel, P., P. Crill, and R. Harriss. 1995. Nitrous Oxide Emissions from Municipal Wastewater Treatment. Environ. Sci. Technol. 29:2352-2356.

Desjardins, R.L.. 1997. Net Methane Emissions from Agroecosystems in Canada for the Years 1981, 1986, 1991, and 1996. Agriculture and Agri-Food Canada. Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Methane Component. Report No. 21.

Environment Canada. 1998. Canada's 1996 Greenhouse Gas Emission Summary (Draft). Pollution Data Branch.

FAO. 1990b. Collection FAO : statistiques n° 94. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Annuaire (FAO) de la production. Rome, Italieé

GIEC 1996b. Lignes directrices du GIEC pour les inventairews nationaux de gaz à effet de serre. Le manuel de référence. Module 4 : Agriculture.

GIEC. 1997. Lignes directrices du GIEC pour les inventairews nationaux de gaz à effet de serre - version révisée 1996. Trois volumes :Technical Summary of Working Group 1; le manuel de référence; le manuel simplifié. Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat. Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) et Agence internationale de l'énergie (AIE). Londres, Royaume-Uni.

Hemond, H.F., and A.P. Duran. 1989. Fluxes of N_2O at the Sediment-Water and Water Atmosphere Boundaries of a Nitrogen-Rich River. Water Resource Res. 25:839-846.

IPCC. 1996a. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Technical Summary of the Working Group 1. Cambridge University Press. Cambridge.

Jacques, A., F. Neitzert, et P. Boileau. 1997. Tendances des émissions de gaz à effet de serre au Canada (1990-1995). Direction des données sur la pollution. Environnement Canada.

Janzen, H.H., R.L. Desjardins, J.H.R. Asselin, et B. Grace. 1998. La santé de l'air que nous respirons. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Direction générale de la recherche

Kinsman, R., F.D. Sauer, H.A. Jackson and M.S. Wolynetz. 1995. Measurements of Methane Emissions from Dairy Cows in Full Lactation Monitored Over a Six-Month Period. J. Dairy Science.

Korol, M., et G. Rattray. 1998. Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada, 1996-1997. Direction de la politique et des programmes de protection du revenu agricole. Unité des intrants agricoles commerciaux. Agriculture Canada.

Lal. R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole. 1998. The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Gas Effect. Sleeping Bear Press, Inc.

McCaughey, W.P., K. Wittenberg et D. Corrigan. 1997. Methane Production by Cattle on Pasture. Compte rendu de l'atelier de travail sur la recherche sur les gaz à effet de serre en agriculture. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Sainte-Foy, Québec, du 12 au 14 mars.

Monteverde, C.A., R.L. Desjardins, and E. Pattey. 1997. Nitrous Oxide Emissions from Agroecosystems in Canada for the Years 1981, 1986, 1991, and 1996, Using the Revised IPCC/OECD Methodology. Agriculture and Agri-Food Canada. Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Nitrous Oxide Component. Report No. 20.

Mosier, A.R.. 1993. Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils. Methane and nitrous oxide: methods in national emissions inventories and options for control. Proceedings of the International IPCC Workshop, National Institute of Public Health and Environmental Protection. The Netherlands, 3-5 February.

NAEC. 1994. Canadian Agriculture and Net Greenhouse Gas Emissions. National Agriculture Environment Committee. Contact T. Daynard, Guelph, Ontario and P. Strankman, Calgary, Alberta. (Cité dans le document de fond de la table nationale sur les puits, 1998).

Narayanan, S.. 1995. Input Use Efficiency Indicator: Use Efficiency for Fertilizers, Pesticides and Energy. Report 11. Agriculture and Agri-Food Canada Discussion Paper.

Pattey, E., R.L. Desjardins, P. Rochette, E.G. Gregorich, M. Edwards et S.P. Mathur. 1997. Emissions of Greenhouse Gases from Manure Under Contrasting Storage Conditions. Compte rendu de l'atelier de travail sur la recherche sur les gaz à effet de serre en agriculture. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Sainte-Foy, Québec, du 12 au 14 mars.

Smith, W., A. Jaques, R.L. Desjardins, E. Pattey. 1997. Estimating Rates of Carbon Change in Agricultural Soils in Canada from 1970 to 2010. Final report prepared for Environment Canada. Pollution Data Branch, Hull, Quebec. (Cité dans le document de fond de la table nationale sur les puits, 1998).

Smith, W. P. Rochette, C. Monreal, R.L. Desjardins, E. Pattey, and A. Jacques. 1997. The Rate of Carbon Change in Agricultural Soils in Canada at the Landscape Level. Canadian Journal of Soil Science.

Spearin, M., et K. O'Connor. 1991. Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada, 1989-1990. Direction de la politique et des programmes de protection du revenu agricole. Unité des intrants agricoles commerciaux. Agriculture Canada.

Statistique Canada. 1997. Recensement agricole (1996).

Statistique Canada. 1996b. Profil agricole du Canada. Statistique Canada Cat. nº. 93-350.

Annexe 1

Exemples de mesures mises en oeuvre par les pays de l'OCDE

Canada

Principales mesures législatives et politiques

Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE)

La Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE) a été promulguée en 1988. Après une série de consultations, une nouvelle LCPE a été ébauchée en 1996. Malheureusement, cette nouvelle législation n'avait pas franchi toutes les étapes nécessaires à son adoption à la levée de la dernière session du Parlement. On prévoit qu'elle sera remise au feuilleton de la prochaine session.

La nouvelle LCPE met l'accent sur la prévention de la pollution ainsi que sur la protection de l'environnement et de la santé des Canadiens contre les effets des substances toxiques. Elle incorpore les progrès réalisés en matière de loi environnementale, ainsi que des notions telles que le développement durable et la prévention de la pollution. Elle englobe la prévention de la pollution, la gestion des substances toxiques, la dépollution de l'air et de l'eau (carburants, émissions des véhicules, pollution transfrontalière de l'air et de l'eau), la surveillance de la pollution et des déchets (sources terrestres de pollution marine, immersion des déchets en mer, transport des déchets dangereux et déchets recyclables et non dangereux), et les aspects écologiques des interventions d'urgence, de la biotechnologie, des activités du gouvernement fédéral, de la gestion des terres de la Couronne et des territoires des Premières Nations, de la mise en vigueur de la réglementation, de la collecte d'informations, des objectifs, des lignes directrices et des codes de pratiques, et de la participation du public.

Loi canadienne sur l'évaluation environnementale

La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale a été promulguée le 19 janvier 1995. Elle poursuit trois objectifs principaux : 1) surveiller la prise en compte appropriée des effets environnementaux des projets; 2) encourager les actions qui favorisent le développement durable; 3) faire en sorte que le public puisse participer au processus d'évaluation environnementale.

La Loi fixe les responsabilités et détermine les méthodes d'évaluation environnementale des projets auxquels participe le gouvernement fédéral. Elle établit en outre un processus clair et équilibré d'évaluation environnementale. Elle permet aux autorités responsables de déterminer les effets environnementaux des projets à une étape précoce de leur planification. La Loi s'applique aux projets pour lesquels le gouvernement fédéral jouit d'un pouvoir de décision, qu'il agisse à titre de proposeur, de gestionnaire des terres, de source de financement ou d'organisme de réglementation. Elle vise également les projets de politiques ou de programmes examinés par le Cabinet. Chaque ministère est responsable de la mise en vigueur de cette Loi (dans le cas d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, cette tâche est confiée au Bureau environnemental).

Cette Loi a une incidence sur l'air, l'eau, le sol et la biodiversité, mais elle vise uniquement les activités gouvernementales et non celles des entreprises individuelles des secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire, à moins que le gouvernement fédéral n'y participe. Sa mise en vigueur a conduit à la conclusion de trois accords fédéraux-provinciaux concernant l'évaluation environnementale. Ces accords permettent l'harmonisation des études d'évaluation environnementale portant sur les projets.

Politique fédérale sur la conservation des milieux humides

La Politique fédérale sur la conservation des milieux humides, administrée par Environnement Canada, a été promulguée en 1991. Elle a pour principal objectif de promouvoir la préservation des milieux humides du Canada pour qu'elles conservent, aujourd'hui et à l'avenir, leurs fonctions écologiques et socio-économiques. Cette politique a notamment pour stratégie d'encourager la reconnaissance du rôle des milieux humides dans les projets de conservation et de mise en valeur des ressources naturelles (p. ex., ressources forestières, minérales, agricoles et aquatiques).

Stratégie pour le développement d'un environnement durable en agriculture et en agroalimentaire au Canada

La Stratégie pour le développement d'un environnement durable en agriculture et en agroalimentaire, administrée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, a été adoptée en 1997. Elle vise principalement à fournir un cadre pour l'intégration des préoccupations de nature écologique dans les politiques et les programmes. Dans le cadre du nouveau plan d'action canadien intitulé « Guide de l'écogouvernement », chaque ministère est tenu d'élaborer ses stratégies de développement durable. La stratégie élaborée par AAC comporte quatre volets pour le développement des secteurs de l'agriculture et de l'agroalimentaire :

- sensibilisation aux questions écologiques;
- promotion d'une plus grande responsabilité vis-à-vis de l'environnement et des ressources;
- mise au point d'innovations et de solutions;
- mise à profit des nouvelles possibilités offertes sur le marché.

Cette stratégie a pour objectif d'assurer le développement durable à long terme de l'agriculture et de l'agroalimentaire. Chacun des quatre volets susmentionnés fera à cette fin l'objet d'un examen et de plans d'action.

Programme national de conservation du sol et de l'eau

Le Programme national de conservation du sol et de l'eau est administré par Agriculture et Agroalimentaire Canada et a été mis sur pied en mai 1997. Dans le cadre de cette initiative d'une durée prévue de deux ans, des fonds seront accordés à chaque province pour la mise en place d'un programme abordant les problèmes prioritaires de pérennité de l'environnement dans le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire. L'accent sera mis sur la conservation des sols et de l'eau dans un environnement durable.

Ce Programme a été mis sur pied en vertu du Fonds canadien d'adaptation et de développement rural pour aider le gouvernement et ses partenaires de l'industrie agricole à mettre en place une stratégie canadienne pour un développement durable. Dans chaque province, on mettra sur pied un programme de conservation des sols et de l'eau qui s'attachera en priorité à assurer la pérennité de l'environnement.

États-Unis

Principales mesures législatives et politiques

North American Wetlands Conservation Act

La North American Wetlands Conservation Act, promulguée en 1989, a pour principal objectif d'encourager la collaboration volontaire des secteurs public et privé aux fins de la préservation des écosystèmes des milieux humides. La loi établit une infrastructure et procure des fonds pour la préservation des milieux humides, permettant ainsi de promouvoir l'intérêt pour la valeur foncière des milieux humides ainsi que pour leur restauration, leur gestion ou leur mise en valeur pour le bénéfice de la faune. Tous les intéressés sont invités à soumettre une demande de subvention en tout temps, moyennant le respect de certains critères. Le Congrès a choisi de consacrer 9 millions de dollars à ce programme en 1995 et 6,75 millions en 1996. On pourrait lui consacrer jusqu'à 30 millions de dollars en 1997 et en 1998.

Ruminant Livestock Methane Program

Ce programme, mis sur pied en 1996, est administré par l'EPA, avec la collaboration du ministère de l'Agriculture (USDA) et des districts de conservation locaux. Il a pour principal objectif de réduire la production de méthane par le biais de plans de gestion rentables. Les chercheurs du USDA et des universités créées par donation foncière du gouvernement fédéral procèdent aux évaluations régionales visant à déterminer les pratiques de gestion, les technologies et les options commerciales qui permettront d'améliorer la productivité tout en réduisant les émissions de méthane. Les services de vulgarisation feront la promotion des options les plus rentables et les plus appropriées pour la réduction des émissions de méthane provenant des vaches d'élevage de boucherie. Les districts locaux de conservation feront la promotion des plans de gestion du bétail rentables qui permettront d'accroître les performances des animaux tout en améliorant les ressources fourragères. Les activités d'action directe lancées dans le cadre de ce programme comprendront l'information des producteurs, l'intégration des résultats dans les programmes existants de vulgarisation, l'évaluation de l'efficacité des activités de vulgarisation, la mise au point d'outils de gestion pour aider les producteurs à surveiller leurs opérations et à évaluer les options de productivité, et la réalisation de démonstrations pratiques.

Pollution Prevention Act

La Pollution Prevention Act, promulguée en 1990, est administrée par l'EPA. Il a pour principal objectif de réduire et de prévenir la pollution à la source, dans la mesure du possible. Les sources de pollution qui ne peuvent être évitées ou dont les produits ne peuvent être recyclés devraient être traitées de manière à nuire le moins possible à l'environnement. L'élimination ou toute autre forme de rejet dans l'environnement ne devrait être autorisée qu'en dernier recours, et utiliser des méthodes respectueuses de l'environnement.

La loi prévoit la mise en place de règlements et de programmes de surveillance, la mise sur pied de partenariats entre les États et les localités, et le renforcement du réseau national de programmes de prévention de la pollution des États et des localités. Elle cherche autant que possible à intégrer la prévention de la pollution dans les programmes de réglementation, d'émission de permis et d'inspection des États et des localités financés par le gouvernement fédéral. Parmi les programmes et les politiques liés à cette loi, on peut mentionner le programme AG-STAR, le Ruminant Livestock Methane Program, le Pesticide Environmental Stewardship Program et le programme Agriculture In Concert with the Environment (ACE).

Conservation Reserve Program (CRP)

Le CRP fait partie des dispositions des Farm Bills de 1985 et 1990. Il a pour objectif de convertir les terres actuellement cultivées mais qui sont très exposées à l'érosion en les protégeant sous une couverture permanente de végétation pendant 10 ans. Le Farm Bill a apporté des changements importants au CRP. Par exemple, il permet le gel temporaire de la production des terres très sensibles à l'érosion que les meilleures pratiques de gestion ne peuvent protéger. La mise en oeuvre du CRP, comme l'adoption d'un système d'agriculture avec travail réduit du sol ou de gestion des résidus, peut conduire à la séquestration du carbone grâce à la lutte contre l'érosion, à l'incorporation de la biomasse dans le sol, etc.

Danemark

Loi sur la protection de l'environnement et lignes directrices pour la réduction des rejets de matières nutritives à partir des terres agricoles

Cette loi est administrée par l'agence danoise de protection de l'environnement et a pour principal objectif de réduire la pollution découlant du lessivage des matières nutritives. Elle oblige les entreprises à adopter les meilleures technologies disponibles pour réduire la pollution. Les lignes directrices visant à réduire le lessivage des matières nutritives (notamment l'azote) à partir des terres agricoles ont été introduites en 1985-1986. En vertu de ces lignes directrices, les producteurs doivent prévoir une capacité suffisante d'entreposage du lisier pour leur permettre de procéder aux épandages en périodes de risque minimal de lessivage. D'autres règles ont en outre été

édictées par le ministère de l'Environnement et par le ministère de l'Agriculture et des Pêches à l'intention des producteurs de bétail :

1. Capacité d'entreposage : Les producteurs doivent être en mesure d'entreposer leur lisier aussi longtemps que nécessaire pour respecter leur stratégie relative à la fertilisation ainsi que les règles régissant l'épandage des engrais; soit normalement de 6 à 9 mois en 1996. Pour les porcheries de plus de 60 unités animales (UA), il faudra une cuve à lisier de 100 m^3 pour entreposer un volume de lisier équivalant à 9 mois de production. Des subventions sont disponibles pour couvrir de 25 à 40 p. 100 des coûts.

2. Tas de fumier isolés : Les agriculteurs qui produisent du fumier solide doivent entreposer ce fumier sur une base imperméable.

3. Maintien d'un rapport raisonnable entre la production de fumier et la superficie des terres adjacentes : pas plus de 2 UA/ha pour la production de bovins, et de 1,7 UA/ha pour les porcs. Toutefois, les producteurs peuvent conclure des ententes écrites avec d'autres producteurs pour utiliser leurs terres.

4. Exigences relatives à l'épandage des engrais : Il n'est permis de procéder à l'épandage du fumier qu'en certaines périodes de l'année, c'est-à-dire lorsque la végétation est présente pour utiliser les matières nutritives et ainsi limiter le lessivage.

- Couverture végétale : Il convient de produire des cultures d'hiver sur au moins 65 p. 100 de la superficie des terres, pour absorber les matières nutritives pendant cette saison.

- Stratégie et bilans d'amendement : Les producteurs doivent proposer des stratégies d'amendement de leurs terres deux fois par année, en respectant des pourcentages précis d'utilisation des terres. Par exemple, pour le lisier de porc, le producteur devra élaborer sa stratégie de 1997 en présumant que 50 p. 100 de l'azote du lisier sera absorbé par les plantes, et réduire sa consommation d'engrais commerciaux en conséquence. Il est par ailleurs prévu que les autorités pourront procéder à des vérifications ponctuelles du respect de ces exigences.

Pays-Bas

Document de politique sur le fumier et l'ammoniac

On a établi des teneurs maximales pour l'épandage des engrais par hectare, et mis en place des mesures permettant de réduire les émissions d'ammoniac. Voici quelques-unes des principales dispositions de la politique de 1996 à mettre en oeuvre d'ici à l'an 2000 :

1. Comptabilité des minéraux : Un système de comptabilité de l'ensemble des minéraux qui entrent dans l'exploitation et de ceux qui en sortent. Si les pertes dépassent les normes fixées pour l'année en cours pour le phosphate et l'azote, cet excédent fait l'objet d'une amende. Les amendes sont de cinq florins par kilogramme excédentaire de phosphate par hectare pour les 10 premiers kilos, et de 20 florins pour les quantités supplémentaires. Le système est entré en vigueur le 1er janvier 1998. Après 1998, les exploitations dont la densité de logement dépasse 2,5 UA devront déclarer leurs pertes marginales et à partir de 2002, cette exigence sera élargie aux exploitations de plus de 1,5 UA.

2. Normes d'utilisation et de pertes : Les doses de fumier épandu sur les terres en herbe ont été réduites de 150 à 135 kg de phosphate par hectare en 1996. En 1998, après la mise sur pied du système de comptabilité des minéraux, la norme pour les pertes sera abaissée à 40 kg/ha de phosphore et elle sera finalement portée à 20 kg/ha d'ici à 2008-2010. Pour l'azote, la norme de déperdition pour les terres en herbe sera de 300 kg/ha en 1998 et de 180 kg/ha en 2008-2010.

3. Encouragement et restructuration : Un fonds de restructuration sera mis en place pour aider les producteurs de porcs dans les secteurs où ils sont concentrés. Une partie de ce fonds pourrait servir à éliminer le

système d'adjudication des droits de production de fumier ou à réduire les excédents de fumier grâce à la restructuration. Le secteur de la production porcine est celui qui, selon les prévisions, aura le plus de mal à atteindre les objectifs de production de fumier.

4. Politique concernant l'ammoniac : Cette politique vise à réduire les émissions. Les producteurs dont la densité de logement est supérieure à 2 UA seront obligés de construire des bâtiments d'élevage à émissions faibles en 1998.

5. Les effets des mesures politiques seront surveillés pour déterminer les quantités de fumier produites et évaluer les diverses solutions adoptées pour la gestion des excédents de fumier. Les résultats seront publiés chaque année.

Australie

Greenhouse 21C - Plan d'action pour un avenir durable

Le programme Biosphere 21C vise particulièrement l'agriculture. En voici les principaux éléments :

- sensibilisation plus grande aux problèmes de l'effet de serre dans les politiques de gestion des terres et des forêts;
- expansion du programme One Billion Trees;
- programmes de reboisement axés sur le marché du travail;
- coopération avec les États pour la surveillance des opérations de défrichement.

On estime qu'environ 40 p. 100 des émissions nettes australiennes de gaz à effet de serre proviennent de la gestion des terres et de l'agriculture.

National Landcare Program

Le National Landcare Program a été mis en place en 1992. Il a pour principal objectif de promouvoir une gestion efficace, durable et équitable des ressources naturelles du pays pour le bénéfice de l'ensemble de la population. Il remplace des programmes qui aidaient les États et les administrations locales à assurer la conservation des terres et la gestion des ressources aquatiques. On s'inquiète surtout de la dégradation des sols observée dans la plupart des régions agricoles (dégradation structurelle, engorgement et salinité, érosion hydrique et éolienne, déséquilibre des matières nutritives et acidification des sols). La piètre qualité des sols, la variabilité du climat, la concentration de l'agriculture sur une proportion des terres limitée à 6 p. 100, et la baisse de la biodiversité posent les problèmes les plus pressants. Le facteur le plus critique, en ce qui concerne les sols productifs, est la protection de la couverture végétale, une question sur laquelle se penche le programme.

Tableau synoptique des règlements nationaux et des instruments économiques utilisés par un groupe choisi de pays de l'OCDE

Question	Canada	États-Unis	Pays-Bas	Danemark	France	Australie
Nitrate et phosphate provenant du fumier et des engrais chimique	Aucun programme national particulier (certains règlements et programmes provinciaux).	Aucun programme national (certains règlements et programmes de financement dans les États).	Quelques programmes nationaux de réglementation et programmes économiques. Les instruments comprennent des quotas, des amendes sur la production excédentaire de fumier, des banques de fumier, des restrictions concernant le calendrier des épandages, la comptabilité des minéraux et l'aide à la conversion à l'agriculture biologique.	Plusieurs programmes nationaux de réglementation et programmes économiques. La plupart des instruments mettent l'accent sur l'élaboration de plans de gestion, les normes et les besoins d'entreposage et le calendrier et les normes d'épandage, ainsi que sur l'aide à la conversion à l'agriculture biologique.	Certains programmes nationaux de réglementation et programmes économiques. Les instruments comprennent une taxe sur les émissions d'azote, des exigences concernant l'entreposage du fumier, des normes maximales d'épandage de l'azote, des bilans de l'azote et l'aide à la conversion à l'agriculture biologique.	Aucun programme national particulier. (Codes de pratiques volontaires pour la production porcine et laitière et pour la transformation du lait.)
Émissions d'ammoniac et de méthane	Aucun programme national.	Aucun programme national.	Programme national pour la réduction des émissions d'ammoniac.	Aucun programme national.	Aucun programme national.	Aucun programme national.
Gestion des terres	Certains programmes prévoient le versement d'indemnités pour la plantation d'une couverture végétale permanente et le gel de la production, l'amélioration des pratiques culturales et d'autres activités conduisant à l'amélioration des terres.	Certains programmes prévoient le versement d'indemnités pour le gel de la production sur des terres fragiles, la mise au point de plans de gestion et l'adoption de pratiques conduisant à la prévention de l'érosion et des pertes de sol.	Gestion des terres fondée sur la gestion des matières nutritives.	Combinaison de programmes obligatoires et facultatifs. Les programmes obligatoires visent la gestion des matières nutritives tandis que les programmes facultatifs encouragent les jachères à long terme et le maintien des terres en herbe.	Certains programmes encouragent le maintien de vastes superficies de terres en herbe et la conversion des terres arables en prairies.	Certains programmes offrent une aide pour la prévention de l'érosion des sols, de la dégradation causée par les mauvaises herbes et les ravageurs et de la dépréciation accélérée des investissements pour l'amélioration des terres.

Question	Canada	États-Unis	Pays-Bas	Danemark	France	Australie

Contamination des eaux de surface et des eaux souterraines	Aucun programme national, mais certains programmes provinciaux.	Le gouvernement fédéral procure aux gouvernements des États les ressources nécessaires pour financer l'adoption de pratiques de gestion conduisant au rétablissement ou à l'amélioration des ressources aquatiques	La plupart des programmes visent la réduction du lessivage des matières nutritives et du ruissellement à partir des terres agricoles.	La plupart des programmes visent la réduction du lessivage des matières nutritives et du ruissellement à partir des terres agricoles.	Système complexe mis sur pied pour gérer les ressources aquatiques. Les États sont responsables de l'élaboration de la politique sur l'eau.	Gamme de programmes offrant du financement aux collectivités pour la gestion des ressources aquatiques locales, et programme national de vérification axé sur la collecte d'informations.
Préservation des milieux humides et de leurs habitats	Aucun programme direct mais fonds disponibles provenant de programmes plus généraux pour la préservation des milieux humides et de leurs habitats.	Programmes nationaux prévoyant le versement d'indemnités aux propriétaires fonciers pour la préservation et la gestion des milieux humides et de leurs habitats.	Programmes nationaux prévoyant le versement d'indemnités aux propriétaires fonciers pour la gestion des milieux humides et de leurs habitats.	Programmes nationaux d'acquisition des terres, de gestion en vertu d'ententes conclues avec les propriétaires fonciers, de reboisement et de subventions pour les pratiques favorables à l'environnement.	Plusieurs programmes nationaux de préservation des espèces menacées et de protection de la nature.	Programmes nationaux d'amélioration de l'information et de préservation de la flore et de la faune indigènes.
Protection de l'environnement et éducation environnementale	Un élément d'un certain nombre de programmes nationaux.	Certains programmes portant précisément sur l'éducation. La formation fait également partie d'un certain nombre d'autres programmes. Les États-Unis possèdent un important système de vulgarisation offrant une grande variété de services.	Certains programmes nationaux portant sur l'amélioration de la formation environnementale des agriculteurs.	Informations insuffisantes pour l'évaluation.	Certains programmes nationaux offrant une formation, le soutien technique et des démonstrations.	Financement national pour la formation et élaboration d'un plan de gestion intégrée de l'exploitation agricole.

Annexe 2

Approche du GIEC pour la détermination des émissions de méthane des animaux — Canada

Méthane provenant de la fermentation entérique

On utilise la méthode de deuxième catégorie du GIEC pour calculer les émissions de CH_4 des animaux. La méthode de deuxième catégorie est utilisée dans les pays où les populations de bovins sont importantes, comme le Canada. Les estimations ont été faites pour du bétail élevé dans un climat frais. Des facteurs d'émission ont été déterminé à partir d'études précédentes et sont classés par région. La méthode de deuxième catégorie du GIEC tient compte des besoins énergétiques du bétail, ainsi que de la variété et de la qualité des aliments. Les émissions de méthane de la fermentation entérique au Canada ont été calculées à partir de l'inventaire du bétail de Statistique Canada pour le recensement de 1996. Le tableau 2 présente les émissions de CH_4 par province. Le tableau 1 montre les facteurs d'émission utilisés pour calculer les émissions de CH_4. Ces facteurs d'émission comprennent les émissions de CH_4 provenant de la respiration et de l'éructation. La méthode du GIEC n'est pas utilisée pour calculer les émissions des volailles. Les émissions provenant directement des volailles sont faibles, et même avec une population de volaille très importante, la contribution aux émissions de CH_4 est minime.

D'après la méthode du GIEC, le bétail d'Amérique du Nord est très productif et commercialisé. Son alimentation comprend des fourrages et des céréales de haute qualité. Les troupeaux de bovins de boucherie sont séparés et sont essentiellement des animaux brouteurs qui reçoivent des suppléments alimentaires en saison. Les bouvillons et les génisses à croissance rapide reçoivent une alimentation de finition à base de céréales dans un parc d'engraissement. Les vaches laitières ne représentent qu'une petite partie de la population. Le GIEC sépare les bovins en deux catégories : les bovins laitiers et les bovins non laitiers. Les bovins non laitiers comprennent les bovins de boucherie, les bovins d'abattage et les veaux.

Les facteurs d'émission pour chaque catégorie d'animal sont estimés à partir de l'apport d'aliments et des taux de conversion en CH_4 pour chaque catégorie. Les besoins en matière d'énergie alimentaire sont estimés en fonction des activités quotidiennes de l'animal, notamment l'entretien, la croissance, le broutage et la lactation. Les besoins énergétiques des animaux de trait et des femelles en gestation sont également inclus. Les équations suivantes sur l'apport énergétique contribuent toutes au facteur d'émission pour chaque sous-catégorie d'animal. Les sous-catégories d'animaux sont les bovins laitiers, les bovins en parc d'engraissement, les bovins pour l'abattage, les génisses et les veaux.

Entretien : L'apport énergétique requis pour réaliser l'équilibre énergétique de l'animal, c.-à-d. sans gain ni perte de tissus corporels. Ces équations sont spécifiques du type d'animal. L'exemple suivant a trait aux bovins. L'apport énergétique des autres animaux obéit à la même équation, mais les constantes sont différentes. L'énergie nette nécessaire pour l'entretien (ENe) des vaches laitières en lactation est légèrement supérieur à celle des autres bovins.

Bovins en général : EN_e (MJ/jour) = 0,322 x (poids en kg)^{0,75}
Bovins laitiers en lactation : EN_e (MJ/jour) = 0,335 x (poids en kg)^{0,75}

Alimentation : L'énergie additionnelle requise par les animaux pour obtenir leur nourriture. Les animaux qui broutent ont besoin de plus d'énergie ($EN_{aliment}$) que les animaux nourris en stalle. Les animaux confinés (box ou stalle) n'ont pas besoin d'énergie additionnelle pour se nourrir.

Animaux broutant un pâturage de bonne qualité : 17 % de EN_e
Animaux broutant une très grande superficie : 37 % de EN_e

Croissance : Les besoins énergétiques pour la croissance (EN_c) peuvent être calculés en fonction du poids et du taux de gain de poids. Le CNRC (1989) présente des formules pour les mâles et les femelles de grande taille et de petite taille; les estimations varient par un facteur d'environ ±25 %. L'équation pour les femelles de grande taille est recommandée, car elle représente la moyenne des quatre types :

$$EN_c \text{ (MJ/jour)} = 4{,}18 \times \{(0{,}035\ P^{0.75} \times GP^{1.119}) + GP\}$$

où :

P = poids de l'animal en kg
GP = gain de poids en kg/jour

Lactation : L'énergie nette pour la lactation (EN_l) est basée sur la quantité de lait produite et sur sa teneur en matières grasses.

$$EN_l \text{ (MJ/jour)} = \text{kg de lait/jour} \times (1{,}47 + 0{,}40 \times \% \text{ matières grasses})$$

Travail : L'énergie requise pour le travail ($EN_{travail}$) varie en fonction de l'intensité et de la durée du travail. Comme ces chiffres varient considérablement, on donne une valeur moyenne. On utilise rarement les animaux pour le trait en Amérique du Nord, mais il faut prendre cet élément en compte pour obtenir un facteur d'émission précis.

$$EN_{travail} \text{ (MJ/jour)} = 0{,}1 \times ENe \times \text{heures de travail par jour.}$$

Gestation : L'énergie requise pour la gestation ($EN_{gestation}$) doit être considérée séparément pour chaque type d'animal. Ceci à cause de la durée de la période de gestation et du poids moyen du petit. L'exemple suivant vaut pour les bovins :

$$EN_{gestation} \text{ (MJ/période de gestation de 281 jours)} = 28 \times \text{poids du veau à la naissance (kg)}$$

où :

$$\text{Poids du veau à la naissance (kg)} = 0{,}266 \times (\text{poids de la vache en kg})^{0.79}$$

On transforme l'apport énergétique total (la somme de tous les apports d'activité) en apport énergétique brut en apportant une correction pour des facteurs comme les pertes fécales, les pertes de chaleur les pertes urinaires et les pertes de gaz combustibles. Pour évaluer le facteur d'émission de chaque type d'animal, on multiplie l'apport énergétique brut par le taux de conversion du CH_4 (Y_m). Le taux de conversion du CH_4 est la fraction de l'apport énergétique brut transformée en CH_4. Cette valeur est une fonction complexe de l'âge de l'animal, du poids et de la qualité des aliments qu'il ingère. On utilise des facteurs de conversion pour équilibrer l'équation du facteur d'émission de façon à obtenir un résultat en kg de CH_4 par tête par année. Le tableau 1 présente les taux d'émission nets pour chaque sous-catégorie d'animal

$$\text{Émission de } CH_4 \text{ (kg } CH_4\text{/tête/année)} = \text{Apport énergétique brut (MJ/jour)} \times Y_m \times (365 \text{ jours/année}) \times (1 \text{ kg } CH_4/55{,}65 \text{ MJ})$$

Tableau 1. Taux estimés d'émission de CH_4 par le bétail au Canada

Animaux	kg de CH_4/tête/année[1]
Vache laitière	118
Génisse laitière	56
Taureau	75
Vache de boucherie	72
Génisse de boucherie	56
Génisse pour l'abattage	47
Bouvillon	47
Veau	42
Verrat/truie	1,5
Porc de marché	1,5
Mouton	8,0
Volaille	Non déterminé

[1] *GIECb, 1996*

Tableau 2. Émissions de méthane de divers animaux d'élevage par province en 1996

	Bétail laitier		Bétail non laitier		Porc		Mouton		Volaille		Bétail total	
Province												
	Pop.[1] (10^6)	**CH_4 Mt/an**	**Pop.[1] (10^6)**	**CH_4 Mt/an**	**Pop.[1] (10^6)**	**CH_4 Mt/an**	**Pop.[1] (10^6)**	**CH_4 Mt/an**	**Pop.[1] (10^6)**	**CH_4 Mt/an**	**Pop.[1] (10^6)**	**CH_4 Mt/an**
Atlantique	0,1	0,009	0,2	0,012	0,3	0,0005	0,05	0,0004	8,6	n/d	9,3	0,022
Québec	0,6	0,060	0,9	0,044	3,1	0,005	0,14	0,001	27,2	n/d	31,9	0,110
Ontario	0,5	0,056	1,7	0,084	3,3	0,005	0,22	0,002	39,0	n/d	44,9	0,147
Manitoba	0,1	0,010	1,2	0,066	1,8	0,003	0,04	0,0003	7,2	n/d	10,5	0,079
Sask.	0,1	0,010	2,6	0,139	0,8	0,001	0,09	0,0007	3,8	n/d	7,5	0,151
Alberta	0,4	0,029	5,5	0,286	2,1	0,003	0,24	0,002	10,3	n/d	18,6	0,320
C.-B.	0,1	0,012	0,7	0,037	0,2	0,0003	0,08	0,0006	14,6	n/d	15,7	0,049
Canada	1,9	0,185	12,9	0,669	11,7	0,018	0,85	0,007	110,8	n/d	138	0,879

[1] *Statistique Canada, 1996*

Méthane de la fermentation entérique :
Émissions totales de la fermentation entérique (Mt/année) = $\sum$ (Population de bétail X Facteur d'émission de la fermentation entérique (kg/tête/année)

Méthane des déchets animaux

Le Groupe de travail III du GIEC a souligné l'importance éventuelle des émissions de CH_4 résultant de la gestion des déchets animaux. Il indique que, dans des conditions anaérobies, les émissions non maîtrisées des systèmes de gestion des déchets pourraient être du même ordre de grandeur que les émissions de CH_4 résultant des processus digestifs du bétail. Les déchets animaux renferment de grandes quantités de matière organique qui, lorsqu'elle est dégradée par les bactéries en l'absence d'oxygène, produit des quantités importantes de CH_4. Le potentiel de production de CH_4 du fumier varie en fonction de sa température, de l'humidité et de sa teneur en carbone disponible. La teneur en carbone disponible varie en fonction du type d'animal, de la nature de son alimentation et de la manutention des déchets. On utilise couramment les systèmes liquides pour le fumier de porc et de bovin laitier en Amérique du Nord. Le fumier des bovins non laitiers est habituellement géré sous forme solide et épandu sur les pâturages ou les parcours.

Le CH_4 émis du fumier du bétail a également été calculé à l'aide d'une méthode du GIEC. Les estimations du GIEC ont été basées sur le postulat que le Canada est un pays développé au climat frais (température moyenne <15 °C). Les facteurs d'émission du fumier sont fondés sur quatre facteurs importants : le type d'animal, le système de stockage et de gestion du fumier, la région climatique et le taux d'excrétion quotidien de l'animal. La teneur en solides volatils (SV_i) du fumier est digne d'intérêt, car c'est la partie du fumier qui contribue à la production de CH_4. La méthode du GIEC fait appel à un facteur de conversion (FCF) pour exprimer la quantité de CH_4 transformée pour chaque système de manutention du fumier. Les systèmes de manutention du fumier sont influencés par certaines conditions du milieu qui favorisent la production de CH_4. Dans une étude récente, Pattey *et al.* (1997) ont montré que le fumier de bovins laitiers et de boucherie stocké sous forme semi-liquide produit les émissions les plus importantes de CH_4. Les conditions anaérobies prédominent davantage dans les systèmes fermés de gestions du fumier liquide que dans les fosses à fumier à ciel ouvert. En général, plus le fumier est humide, plus la production de CH_4 est abondante. Il faut tenir compte des variations dans les pratiques de gestion du fumier d'une région et d'un pays à l'autre pour élaborer des facteurs d'émission de ces animaux. Des facteurs de conversion sont nécessaires pour exprimer le facteur d'émission en kg de CH_4/tête/année.

$$\text{Émission} = SV_i \times 365 \text{ jours/année} \times B_{oi} \times (0{,}67 \text{ kg/m}^3 \text{ de } CH_4) \times (\sum_{jk} FCF_{jk} \times \% SM_{ijk})$$

où :

SV_i	= solides volatils quotidiens excrétés (kg) par type d'animal i
B_{oi}	= capacité maximale de production de CH_4 du fumier (m^3 CH_4/kg SV) par animal de type i
FCF_{jk}	= facteurs de conversion du CH_4 pour chaque système de gestion du fumier j dans une région climatique k
$\% SM_{ijk}$	= fraction de fumier d'animal de type i géré par un système j dans une région climatique k

Les émission de méthane du fumier au Canada ont été calculées à l'aide des données d'inventaire sur le bétail de Statistique Canada pour l'année 1996; le tableau 3 présente ces données par province. Le tableau 4 montre les facteurs d'émission utilisés pour calculer les émissions de CH_4 du fumier. Le fumier de volaille est inclus dans l'inventaire des émissions de CH_4.

Tableau 3. Facteurs utilisés dans le calcul des émissions de CH_4 du fumier du bétail

Type d'animal	Taux d'émission de CH_4 (kg de CH_4/tête/année)[1]
Vache laitière	36
Génisse laitière	36
Taureau	1
Vache de boucherie	1
Génisse de boucherie	1
Génisse pour l'abattage	1
Bouvillon	1
Veau	1
Verrat/truie	10
Porc de marché	10
Mouton	0,19
Poulet	0,078
Dindon	0,078

[1] *GIECb, 1996*

Tableau 4. Émissions de méthane du fumier de divers animaux d'élevage

Province	Bétail laitier	Bétail non laitier	Porc	Mouton	Volaille	Bétail total
	CH_4 (Mt)	CH_4 (Mt)	CH_4 (Mt)	CH_4 (Mt)	CH_4 (Mt)	CH_4 (Mt)
Atlantique	0,003	0,0002	0,003	0,00001	0,0007	0,007
Québec	0,020	0,0008	0,031	0,00003	0,002	0,054
Ontario	0,020	0,002	0,033	0,00004	0,003	0,057
Manitoba	0,004	0,001	0,018	0,00001	0,0006	0,024
Sask.	0,005	0,002	0,008	0,00002	0,0003	0,016
Alberta	0,015	0,005	0,021	0,00005	0,0008	0,042
C.-B.	0,004	0,0007	0,002	0,00001	0,001	0,008
Canada	**0,070**	**0,012**	**0,117**	**0,00016**	**0,009**	**0,208**

Méthane des déchets animaux :
Émissions totales de la gestion du fumier (Mt/année) = $\sum$ (Population de bétail X Facteur d'émission de la gestion du fumier (kg/tête/année)

Comparaison entre la méthode canadienne et la méthode du GIEC

Environnement Canada a estimé les émissions de CH_4 des agroécosystèmes canadien à l'aide de facteurs d'émission dérivés d'une source canadienne (Casada et Safley, 1990b). Les estimations des émissions du fumier dans l'étude d'Environnement Canada comprennent des facteurs tels les solides volatils excrétés et le CH_4 que ces solides volatils émettent. Le tableau 5 présente ces facteurs d'émission. Certains facteurs d'émission s'écartent beaucoup de ceux du GIEC, mais les valeurs du CH_4 total émis qui ont été obtenues par la méthode canadienne (tableau 6) sont très semblables à celles obtenues par le GIEC (tableau 7).

La méthode canadienne, contrairement à celle du GIEC, inclut aussi les combustibles fossiles qui constituent une source mineure de CH_4. Comme les combustibles fossiles ne libèrent qu'une petite quantité de CH_4 dans l'atmosphère, comparativement aux autres sources importantes de CH_4, les émissions des combustibles fossiles ne font pas une grande différence dans la comparaison des deux valeurs d'émissions totales. Comme les chiffres utilisés avec la méthode canadienne proviennent d'une étude américaine, les estimations des émissions de CH_4 des agroécosystèmes canadiens proviennent de l'application de l'approche du GIEC pour un climat frais.

Tableau 5. Facteurs d'émission de animaux d'élevage au Canada

Type d'animal	Production de CH_4[1]	Production de solides volatils[1] (kg SV/année)	Taux d'émission de CH_4 (kg CH_4/kg SV)[1]
Vache laitière	105	2260,5	0,019
Génisse laitière	62	2260,5	0,019
Taureau	92	1103,8	0,011
Bovin de boucherie	56	1103,8	0,011
Génisse de boucherie	52	1103,8	0,011
Génisse pour l'abattage	41	1103,8	0,011
Bouvillon	44	1103,8	0,011
Veau	29	1103,8	0,011
Verrat/truie	3,3	561,5	0,043
Porc	1,9	140,3	0,044
Mouton	8,4	338,8	0,019
Poulet	0,002	5,6	0,024
Dindon	0,01	22,6	0,019

[1] *Jacques* et al., *1997*

Tableau 6. Résumé des émissions de CH_4 des agroécosystèmes par la méthode canadienne

Source	1981 (Mt CH_4)	1986 (Mt CH_4)	1991 (Mt CH_4)	1996 (Mt CH_4)
Bétail	0,723	0,635	0,651	0,738
Gestion du fumier	0,339	0,306	0,313	0,347
Sols	-0,011	-0,012	-0,012	-0,012
Combustibles fossiles	0,001	0,001	0,001	0,001
Total (Mt CH_4)	1,052	0,929	0,952	1,074
Total (Mt équivalents de CO_2)	**22**	**20**	**20**	**23**

Tableau 7. Résumé des émissions de CH_4 des agroécosystèmes canadiens par la méthode du GIEC

Source	1981 (Mt CH_4)	1986 (Mt CH_4)	1991 (Mt CH_4)	1996 (Mt CH_4)
Bétail	0,849	0,748	0,771	0,879
Fumier du bétail	0,208	0,192	0,19	0,208
Sols	-12	-12,4	-12,3	-12,0
Combustibles fossiles	0,001	0,001	0,001	0,001
Total (Mt CH_4)	1,045	0,928	0,95	1,075
Total (Mt équivalents de CO_2)	**22**	**20**	**20**	**23**

Source : DESJARDINS, R.L. *Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Methane Component*, rapport no 21, *Net Methane Emissions form Agroecosystems in Canada* pour les années 1981, 1986, 1991 et 1996, juin 1997

Annexe 3

Méthode de calcul des émissions d'oxyde nitreux de l'agriculture

La méthode du GIEC pour estimer les émissions de N_2O de l'agriculture se divisent en trois grands groupes : a) les émissions directes des sols agricoles; b) les émissions directes des systèmes de production animale et c) les émissions indirectes des systèmes agricoles. Ces groupes peuvent alors être subdivisés en fonction des principaux émetteurs de N_2O.

Émissions directes de N_2O des sols agricoles

Émissions de N_2O des engrais azotés synthétiques (E_{as})

Les estimations des apports d'engrais azotés synthétiques dans les sols agricoles ont été obtenus des publications sur la consommation, la livraison et le commerce des engrais au Canada (Asselstine et Girard, 1992; Spearin et O'Connor, 1991). Les chiffres sur la consommation d'engrais sont entachés d'incertitude, car ils peuvent ne pas correspondre exactement à la consommation sur la ferme dans une province donnée. Il y a également un certain mouvement d'engrais entre des détaillants et des fermes au niveau interprovincial et peut-être international. Les données sur les engrais pour 1981 ne sont pas disponibles.

Les facteurs par défaut utilisés pour calculer les émissions provenant des engrais azotés ont été obtenus de Bouwman (1996). Ces facteurs sont fondés sur des mesures publiées des émissions de N_2O de sols fertilisés et non fertilisés, et des facteurs d'émission du GIEC (1996b) (tableau 1). Un facteur d'émission de 0,1 N-NH_3 + N-NO_x /kg d'engrais synthétiques est utilisé pour tenir compte de la perte par suite de la volatilisation de l'ammoniac et des émissions d'oxyde nitrique par nitrification après la fertilisation.

Tableau 1. Pourcentage d'engrais azoté émis sous forme de N_2O pour divers types d'engrais

Type d'engrais	%[1]
1. Ammoniac anhydre	1,6
2. Nitrate d'ammonium	0,3
3. Sulfate d'ammonium (sels d'ammonium)	0,1
4. Urée	0,3
5. Nitrate de calcium	0,2
6. Phosphate	0,1
7. Potasse et autre engrais	0,1

[1] *Bouwman, 1996*

Les émissions d'oxyde nitreux des engrais azotés sont estimées à l'aide de la consommation d'engrais azotés totaux. On les calcule en excluant les 10 % d'émissions de NH_3 et de NO_x que l'on estime être perdues dans l'atmosphère au cours de l'application.

Équation 1 :

$$N_2O_{(engrais)} = \sum \text{consommation d'engrais azoté (kg N/année)} * 0,9 * FE_{(type\ d'engrais)} * 10^{-6} * 44/28$$

où : $FE_{(type\ d'engrais)}$ = Facteur d'émission par type d'engrais;
10^{-6} = Conversion de kg en Gg;
44/28 = Conversion de N_2 en N_2O
$N_2O_{(engrais)}$ = Gg de N_2O

Émissions de N_2O des déchets animaux (F_{DA})

Il est difficile d'estimer la teneur en azote des aliments et des excréments des animaux, les pertes de NH_3 et les quantités annuelles d'excréments par type et taille d'animal. Par conséquent, on ne peut en obtenir qu'une estimation approximative à partir de la population des animaux et des pratiques agricoles. Le fumier utilisé comme engrais est corrigé en fonction de la volatilisation du NH_3 et des émissions de NO_x. On présume que cela représente 20 % de l'azote appliqué (GIEC, 1996b). Le facteur par défaut utilisé pour l'excrétion de l'azote est basé sur une étude menée par le Midwest Plan Service (Livestock Waste Facilities Handbook, 1993), et les facteurs d'émission sont basés sur les données du GIEC (1996b) (voir le tableau 2).

Tableau 2. Teneur en azote du fumier de divers types d'animaux et pourcentage d'azote du fumier produit dans les pâturages et les parcours ainsi que les facteurs d'émission respectifs

Animal	Teneur en N (kg N/ animal/an)[1]	Facteur d'émission FE[2]	% de N du fumier produit dans les pâturages et les parcours[3]	Facteur d'émission FE[4]
Bovin laitier	70,5	0,0125	20	0,02
Bovin non laitier	56,4	0,0125	42	0,02
Porc	15	0,0125	0	0,02
Mouton	6,8	0,0125	44	0,02
Volaille	0,45	0,0125	1	0,02

[1] *Livestock Waste Facilities Handbook, 1993*
[2] *GIEC, 1996b, tableau 4-18*
[3] *GIEC, 1996b, tableau 4-7*
[4] *GIEC, 1996b, tableau 4-8.*

On peut alors calculer les émissions de N_2O à partir de la population du bétail et des facteurs d'excrétion de l'azote du Midwest Plan Service (Livestock Waste Facilities Handbook, 1993) :

Équation 2 :

$$\text{Excrétion de } N_{(\text{type d'animal})} = N_{(NEX)\text{type d'animal}} = \sum \text{production de fumier}_{(\text{type d'animal})} * \text{teneur en } N_{(\text{type d'animal})}$$

Équation 3 :

$$N\ \text{total}_{(NEX)} = \sum = N_{(NEX)\text{type d'animal}}$$

Équation 4 :

$$N_2O_{(\text{déchets animaux})} = (N\ \text{total}_{(NEX)} - N\ \text{fumier}_{(\text{au train de brouter})}) * (1\text{-}Frac_{(GASM)} * 0{,}0125 * 10^{-6} * 44/28$$

où : $Frac_{(GASM)}$ = fraction de l'azote du bétail excrété volatilisé sous forme de NH_3 et de NO_x (kg HN_3 et N-No_x/kg N excrété; 0,2 (GIEC, 1996b, tableau 4-17);
$N_2O_{(\text{déchets animaux})}$ = Gg N_2O

Les données ci-dessus doivent être évaluées pour chaque province de façon à ce que les déchets animaux utilisés pour fertiliser les cultures et ceux déposés sur les pâturages lorsque les animaux broutent ne soient pas comptés deux fois. On procède en soustrayant la quantité d'azote excrétée par les animaux en train de brouter de la quantité totale d'azote excrétée par les animaux.

Émission de N_2O des cultures fixant l'azote (F_{BN})
On calcule les émissions de N_2O des cultures fixant l'azote en multipliant le % de N dans la culture par un facteur d'émission de façon à obtenir la quantité de N_2O émise. La production des cultures fixant l'azote dans chaque province a été obtenue de Statistique Canada (1996b). On a calculé la production de luzerne à partir de la superficie totale ensemencée multipliée par le rendement de chaque année. Le facteur d'émission de 1,25 % de kg de N-N_2O/kg N a été utilisé pour calculer les émissions de N_2O (GIEC, 1996b).

On calcule les émissions de N_2O des cultures fixant l'azote en supposant que la production de biomasse sèche de légumineuses et de soja est environ deux fois plus élevée que la masse de la culture comestible (FAO, 1990b). Un facteur par défaut de 0,03 kg N/kg de biomasse sèche est utilisé pour transformer les unités de kg de biomasse sèche/année en kg de N/année dans les cultures. On suppose que la teneur en eau de la culture est d'environ 15 % pour la plupart des cultures, mais elle varie légèrement d'une culture à l'autre.

Équation 5 :

$$N_2O_{(\text{cultures fixant l'azote})} = 2 * [\text{production totale}_{(\text{kg de biomasse sèche})} * (\text{teneur en N/kg de biomasse sèche})] * 0{,}0125 * 10^{-6} * 44/28$$

où : teneur en N/kg de biomasse sèche = 0,03 kg N/kg de biomasse sèche;
$N_2O_{(\text{cultures fixant l'azote})}$ = Gg N_2O

Émissions de N_2O des résidus de cultures (F_{RC})
La distribution des cultures agricoles (données de production de la récolte de 1996) pour chaque province a été obtenue de Statistique Canada. Un facteur d'émission de 1,25 % (GIEC, 1996b) est utilisé pour calculer les émissions de N_2O (kg N-N_2O/kg N).

On estime les émissions d'oxyde nitreux des résidus de cultures en supposant que la production de la culture représente environ deux fois la masse de la culture comestible (FAO, 1990b). Un facteur par défaut de 0,015 kg N/kg de biomasse sèche est utilisé pour transformer les unités de kg de biomasse sèche/année en kg de N/année.

Au Canada, on tient pour acquis que 90 % des résidus de cultures de céréales sont laissés sur le champ.

Équation 6 :

$$N_2O_{(\text{résidus de cultures})} = 2 * [\text{production totale de la culture} * Frac_{(NCRO)} + \text{rendement total en graines}_{(\text{légumineuses et soja})} * Frac_{(NCRBF)}] * (1-Frac_{(R)} * (1-Frac_{(BURN)} * 0{,}0125 * 10^{-6} * 44/28$$

où : $Frac_{(NCRO)}$ = fraction de N dans les cultures ne fixant par l'azote (kg N/kg de biomasse sèche); tableau 3
$Frac_{(NCRBF)}$ = fraction de N dans les cultures fixant l'azote (kg N/kg de biomasse sèche); tableau 3
$Frac_{(R)}$ = fraction de résidus de cultures retirée du champ sous forme de culture (kg N/kg de biomasse sèche); tableau 3
$Frac_{(BURN)}$ = fraction des résidus de cultures brûlée plutôt que laissée sur le champ; tableau 3
$N_2O_{(\text{résidus de cultures})}$ = Gg N_2O

Tableau 3. Valeurs par défaut pour les cultures fixant l'azote et les résidus de cultures

$Frac_{NCRO}$	0,015 kg N/kg de biomasse sèche
$Frac_{NCRBF}$	0,03 kg N/kg de biomasse sèche
$Frac_{R}$	0,45 kg N/kg N de cultures
$Frac_{BURN}$	0,0 dans les pays développées

Source : GIEC, 1996b; tableau 4-17.

Émissions de N_2O des histosols

On calcule les émissions d'oxyde nitreux des histosols en multipliant la superficie totale de sols organiques cultivée et le facteur d'émission pour les émission directes du sol.

Équation 7 :

$$N_2O_{(\text{histosols})} = \text{superficie de sols organiques cultivée} * \text{facteur GIEC}_{(\text{régions tempérées})} * 10^{-6} * 44/28$$

où : Facteur $GIIEC_{(\text{régions tempérées})}$ = 5,0 kg N_2O-N/ha/année;
$N_2O_{(\text{histosols})}$ = Gg N_2O.

Émission directes totales de N_2O des sols agricoles

Équation 8 :

$$N_2O \text{ direct (Gg } N_2O/\text{année)} = \{N_2O_{(\text{engrais})} + N_2O_{(\text{résidus de cultures})} + N_2O_{(\text{cultures fixant l'azote})} + N_2O_{(\text{déchets animaux})} + N_2O_{(\text{histosols})}\}$$

Émissions directes de N_2O des systèmes de production animale

Il y a deux sources possibles d'émissions de N_2O des animaux : a) excréments liquides et solides déposés sur le sol par les animaux en train de brouter et b) déchets animaux dans l'entreposage et le traitement.

Émissions de N_2O des animaux en trains de brouter

Les estimations de la teneur en azote total du fumier de divers types d'animaux d'élevage sont basées sur une étude menée par le Midwest Plan Service (Livestock Waste Facilities Handbook, 1993). Leurs valeurs sont beaucoup plus faibles que celles du GIEC. Le tableau 2 présente les facteurs par défaut utilisés dans cette étude.

On calcule les émissions de N_2O des animaux en train de brouter à l'aide de l'équation suivante :

Équation 9 :

$$N_2O_{(SGDA)} = [N_{(T=1)} * N_{(EXN=1)} * SGDA_{(T=1)} * FE_{3(SGDA)} + \ldots + (N_{(T=Max)} * SGDA_{(T=Max)} * FE_{3(SGDA)}] * 10^{-6} * 44/28$$

où : T = type d'animal;
$N_{(T)}$ = nombre d'animaux de type T;
$N_{(EXN)}$ = excrétion de N des animaux de type T (kg de N/animal/année; (Livestock Waste Facilities Handbook, 1993); (tableau 4-6)
$SGDA_{(T)}$ = fraction de $N_{(EXN)}$ des animaux de type T broutant dans les pâturages et les parcours; (Munroe, J., 1998)
$FE_{3(SGDA)}$ = 0,02; tableau 2
$N_2O_{(SGDA)}$ = Gg N_2O

Émissions de N_2O durant l'entreposage du fumier

Les données utilisées pour estimer les émissions du fumier des animaux ont été utilisées dans le calcul des émissions de N_2O des SGDA. Les facteurs d'émission du GIEC (1996b), du Livestock Waste Facilities Handbook (1993) et de Munroe (1998) (tableau 4) sont basés sur les estimations des systèmes de distribution et de gestion des animaux pour chaque type d'animal. La majorité des facteurs d'émission sont fondés sur une quantité très limitée de données (GIEC, 1996a).

On peut estimer les émissions d'oxyde nitreux des autres systèmes de gestion des animaux à l'aide des équations suivantes :

Équation 10 :

$$N_2O(SGDA) = \sum_{(T)} [N_{(T)} * N_{(EXN)} * SGDA_{(T)}] * FE_3 * 10^{-6} * 44/28$$

où : $N_{(T)}$ = nombre d'animaux de type T;
$N_{(EXN)}$ = excrétion de N des animaux de type T (kg N/animal/année); (Livestock Waste Facilities Handbook, 1993)
$SGDA_{(T)}$ = Fraction de $N_{(EXN)}$ gérée dans différents systèmes de gestion des déchets pour les animaux de type T (Munroe, 1998);
FE_3 = Facteur d'émission (GIEC, 1996b; tableau 4-8)

Tableau 4. Valeurs par défaut pour l'excrétion de N par tête et par type d'animal

Animal	Teneur en N	% de N de fumier produit dans			Facteur d'émission FE[3]		
		Systèmes liquides	Stockage solide	Autres systèmes	Systèmes liquides	Stockage solide	Autres systèmes
Bovin laitier	70,5	53	27	0	0,001	0,02	0,005
Bovin non laitier	56,4	1	56	1	0,001	0,02	0,005
Porc	15	90	10	0	0,001	0,02	0,005
Mouton	6,8	0	46	10	0,001	0,02	0,005
Volaille	0,45	4	0	95	0,001	0,02	0,005

[1] *Livestock Waste Facilities Handbook, 1993*
[2] *Munroe, 1998*
[3] *GIEC, 1996b; tableau 4-8*

Émissions indirectes de N_2O des systèmes agricoles

L'application d'engrais azotés et de fumier peut se traduire par la libération indirecte de N_2O par : a) la volatilisation et le dépôt de NH_3 et de NO_x dans l'atmosphère (principalement à partir des engrais azotés); b) la lixiviation et le ruissellement de l'azote et c) les eaux usées municipales.

Émissions indirectes provenant du dépôt de NH_3 et de NO_x dans l'atmosphère

Les données utilisées pour estimer les pertes de N sous la forme de NH_3 et de NO_x sont basées sur une estimation de la quantité d'engrais azotés utilisée ($N_{(ENGRAIS)}$ et de la quantité d'azote provenant du fumier ($N_{(EXN)}$. Le fumier des animaux en train de brouter n'est pas inclus ici; il a été inclus dans sa propre catégorie. Des valeurs par défaut de 0,1 kg N/année pour les engrais et de 0,2 kg N/année pour le fumier rendent compte de la volatilisation de NH_3 et de NO_x. Un facteur d'émission de 0,01 kg de N-N_2O par kg de N-NH_3 et de N-NO_x émis est utilisé pour calculer les émissions de N_2O (GIEC, 1996b).

Émissions indirectes de N_2O provenant de la lixiviation de l'azote

L'inventaire suivant comprend les données qui ont été utilisées pour l'estimation des émissions de N_2O provenant de la lixiviation de l'azote. L'excrétion totale d'azote provenant du fumier ($N_{(EXN)}$) comprend le fumier produit par les animaux en train de brouter. Le facteur par défaut du GIEC de 0,3 kg N/kg d'engrais azoté ou d'azote du fumier est utilisé pour tenir compte de la fraction d'engrais ou de fumier perdue par lixiviation et ruissellement. On utilise également cette valeur pour calculer les émissions de N-N_2O. On utilise un facteur d'émission de 0,025 kg N-N_2O pour l'azote perdu par lixiviation et ruissellement.

Équation 11 :

$$N_2O_{(G)} = N_{(ENGRAIS)} * Frac_{(GASF)} + N_{(EXH)} * Frac_{(GASM)} * FE_4 * 10^{-6}$$

où : $Frac_{GASM}$ = fraction de l'azote excrétée par le bétail qui se volatilise sous forme de NH_3 et de NO_x (kg N-NH_3 et de N-NO_x excrété) (GIEC, 1996a, tableau 4-19)
$Frac_{GASF}$ = fraction de l'azote d'engrais azotés synthétiques appliqués qui se volatilisent sous forme de NH_3 et de NO_x (kg de N-NH_3 et de N-NO_x excrété) (GIEC, 1996a, tableau 4-19
$N_2O_{(G)}$ = émissions de N_2O dues au dépôt atmosphérique de NH_3 et de NO_x (kg N/année);
FE_4 = 0,01 kg N-N_2O/kg N-NH_3 et de N-NO_x déposé (GIEC, 1996b, tableau 4-18);

Équation 12 :

$$N_2O_{(L)} = (N_{(ENGRAIS)} + N_{(EXH)} * Frac_{(LIXIV)} * FE_5 * 10^{-6}$$

où : $Frac_{(LIXIV)}$ = fraction d'azote dans le sol perdue par lixiviation et ruissellement (kg N de l'azote appliqué) (GIEC, 1996b; tableau 4-17
FE_5 = 0,025 kg N-N_2O /kg d'azote perdu par lixiviation et ruissellement (GIEC, 1996b; tableau 4-18);
$N_2O_{(L)}$ = émissions de N_2O dues à la lixiviation et au ruissellement de l'azote (kg N/année)

Équation 13 :

$$N_2O_{(indirect)} = (N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)}) * 44/28$$

où : $N_2O_{(indirect)}$ = Gg N_2O

Émissions d'oxyde nitreux du traitement des eaux usées municipales

On suppose que l'azote constitue environ 16 % en poids de l'apport en protéines chez les humains. Les taux d'émission provenant du traitement des eaux usées et de l'évacuation des eaux usées provenant des activités humaines sur les terres sont censés être faibles, à en juger par les faibles taux d'émission de N_2O signalés pour les installations de traitement des eaux usées (Hemond and Duran, 1989; Czepiel *et al.*, 1995) et l'absence d'information sur la production de N_2O provenant de l'évacuation des eaux usées provenant des activités humaines sur les terres. On suppose également que les pertes d'azote des eaux usées sont minimales lors de l'évacuation des eaux usées sur les terres et de leur traitement, et que tout l'azote des eaux usées pénètre dans les cours d'eau et/ou les estuaires (GIEC, 1996b). On estime à 0,01 kg de N-N_2O/kg de N des eaux usées les émissions d'oxyde nitreux dans les cours d'eau et les estuaires dues à la nitrification et à la dénitrification (GIEC, 1996b).

On calcule les émissions d'oxyde nitreux des eaux usées à l'aide de l'équation suivante :

Équation 14 :

$$N_2O_{(EE)} = NR_{(personnes)} * Protéines * Frac_{(NPR)} * FE_6 * 10^{-6} * 44/28$$

où : $N_2O_{(EE)}$ = émissions de N_2O des eaux usées provenant des activités humaines (Gg N_2O);
Protéines = apport en protéines annuel par habitant (kg/personne/année);
$NR_{(personnes)}$ = nombre de personnes;
FE_6 = facteur d'émission (valeur par défaut : 0,01 (0,002-0,12) kg de N-N_2O/kg d'eaux usées (GIEC, 1996b; tableau 4-18);
$Frac_{(NPR)}$ = fraction d'azote dans les protéines (valeur par défaut : 0,16 kg N/kg de protéines) (GIEC, 1996b; tableau 4-19).

Estimations des émissions directes de N_2O des sols agricoles

Le tableau 5 résume les émissions directes de N_2O des différentes sources agricoles en 1996.

Tableau 5 : Importance des sources d'émissions directes de N_2O des sols agricoles en 1996

Province	A F_{AS}	B F_{DA}	C F_{RC}	D F_{BN}	E $F_{histosols}$	F Émissions directes totales
	(Mt N_2O2) /année	(Mt N_2O2) /année	(Mt N_2O2) /année	(Mt N_2O2) /année	(Mt N_2O2) /année	(Mt N_2O2) /année
Prov. atlant.	0,0001	0,00033	0,00047	0,0001	0	0,00087
Québec	0,000034	0,00192	0,00259	0,00076	0,0001	0,00566
Ontario	0,00103	0,00225	0,00562	0,00411	0,0001	0,01307
Manitoba	0,00398	0,00117	0,00374	0,00167	0	0,01056
Sask.	0,00497	0,00158	0,00943	0,00308	-	0,01906
Alberta	0,00486	0,00349	0,00728	0,00276	-	0,01839
C.-.B.	0,00018	0,00059	0,0007	0,004	0	0,00188
Canada	0,01544	0,01133	0,02952	0,01306	0,00012	0,6948
% contribution	22 %	16 %	42 %	19 %	0,2 %	

Estimations des émissions directes de N_2O des systèmes de production animale

Le tableau 6 présente le résumé des émissions directes de N_2O des animaux brouteurs.

Tableau 6. Émissions totales de N_2O des animaux brouteurs par province

Province	A N excrété N_{ex} (Mt N)[1]				B $(FE_3)^2$ pour les brouteurs	C Émissions de N_2O des animaux brouteurs (Mt N_2O) C=(A x B) x (44/28)			
	1981	1986	1991	1996		1981	1986	1991	1996
Prov. atlant.	0,008	0,01	0,01	0,007	0,02	0	0	0	0
Québec	0,0301	0,028	0,027	0,0278	0,02	0	0	0	0
Ontario	0,0582	0,049	0,046	0,0462	0,02	0	0	0	0
Manitoba	0,026	0,025	0,025	0,0293	0,02	0	0	0	0
Sask.	0,0551	0,046	0,052	0,0599	0,02	0	0	0	0
Alberta	0,0939	0,086	0.106	0.1279	0,02	0	0	0	0
C.-B.	0,0172	0,015	0,016	0,0196	0,02	0	0	0	0
Canada	0,2877	0,2565	0,2782	0,3152	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

[1] *Statistique Canada*
[2] *GIEC, 1996b, tableau 4-8*

Le tableau 7 présente les émissions de N_2O des différents systèmes de gestion des déchets animaux (SGDA).

Tableau 7. Émissions totales de N_2O des systèmes de gestion des déchets animaux par province en 1996

Province	A Excrétion d'azote $N_{EXN\ (SGDA)}$ (Mt N)[1]				B Facteur d'émission pour les SGDA (FE_3)[2]				C Émissions de N_2O (Mt N_2O) C= (AxB)x44/28
	Bassins anaéro.	Systèmes liquides	Stockage solide	Autres systèmes	Bassins anaéro.	Systèmes liquides	Stockage solide	Autres systèmes	
Prov. atlant.	0	0,01	0,01	0	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00034
Québec	0	0,068	0,042	0,01	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00153
Ontario	0	0,06	0,066	0,02	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00229
Manitoba	0	0,029	0,042	0	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00139
Sask.	0	0,017	0,081	0	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00259
Alberta	0	0,042	0,173	0	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00556
C.-B.	0	0,01	0,026	0	0,001	0,001	0,02	0,005	0,00089
Canada	0	0,2306	0,4359	0,05	0,001	0,001	0,02	0,005	0,01449

[1] *Statistique Canada*
[2] *GIEC, 1996b, tableau 4-8*

Estimations des émissions indirectes de N_2O des systèmes agricoles

Le tableau 8 présente les émissions indirectes de N_2O provenant du dépôt de NH_3 et de NO_x dans l'atmosphère en 1996.

Tableau 8. Émissions indirectes de N_2O provenant du dépôt de NH_3 et de NO_x dans l'atmosphère

	Émissions de N_2O (Mt N_2O)			
Province	1981	1986	1991	1996
Prov. atlant.	0,00007*	0,00007	0,00007	0,00007
Québec	0,00044*	0,00053	0,00052	0,00052
Ontario	0,00055*	0,00084	0,00074	0,00072
Manitoba	0,00018*	0,00055	0,0006	0,00072
Sask.	0,00029*	0,00074	0,00066	0,00113
Alberta	0,00050*	0,00096	0,0011	0,00137
C.-B.	0,00012*	0,00015	0,00015	0,00017
Canada	0,00356	0,00385	0,00387	0,00474

* Émissions fondées uniquement sur les contributions du fumier

Le tableau 9 résume les émissions de N_2O provenant de l'azote perdu par lixiviation et ruissellement.

Tableau 9. Émissions indirectes d'azote provenant de l'azote perdu par lixiviation

	Émissions de N_2O (Mt N_2O)			
Province	**1981**	**1986**	**1991**	**1996**
Prov. atlant.	0,00036*	0,00036	0,00061	0,00064
Québec	0,00200*	0,00284	0,0028	0,00281
Ontario	0,00275*	0,00501	0,00435	0,00428
Manitoba	0,00097*	0,00374	0,00405	0,0049
Sask.	0,00172*	0,00521	0,00455	0,00799
Alberta	0,00299*	0,00644	0,00737	0,0092
C.-B.	0,00064*	0,00096	0,00089	0,00096
Canada	0,02205	0,02455	0,02463	0,03079

* Émissions fondées uniquement sur les contributions du fumier

Le tableau 10 présente la contribution des eaux usées provenant des activités humaines aux émissions de N_2O

Tableau 10. Émissions de N_2O des eaux usées provenant des activités humaines par province

Province	**Population totale[1] (millions)**				**Émissions totales de N_2O (Mt N_2O)**			
	1981	**1986**	**1991**	**1996**	**1981**	**1986**	**1991**	**1996**
Prov. atlant.	2,23	2,28	2,32	2,33	0	0	0	0
Québec	6,44	6,53	6,90	7,14	0	0	0	0
Ontario	8,63	9,10	10,09	10,76	0	0	0	0
Manitoba	1,03	1,06	1,09	1,11	0	0	0	0
Sask.	0,97	1,01	0,99	0,99	0	0	0	0
Alberta	2,24	2,37	2,55	2,70	0	0	0	0
C.-B.	2,74	3,28	3,28	3,72	0	0	0	0
Canada	24,34	25,31	27,30	28,85	0,002	0	0,003	0

[1] *Statistique Canada, cat. nº 93-304*

Estimations des émissions totales de N_2O de l'agriculture

Le tableau 11présente les estimations des émissions totales de N_2O.

Tableau 11. Émissions totales de N_2O des sources agricoles par province en 1996

	A	B	C	D
Province	**Émissions directes des sols (Mt N_2O)**	**Émissions directes des animaux brouteurs et des SGDA (Mt N_2O)**	**Émissions indirectes NH_3 et NO_x; Lixiviation; Eaux usées humaines (Mt N_2O)**	**Émissions totales de N_2O (Mt N_2O) D = A+B+C**
Prov. Atlant.	0,00087	0,00055	0,00092	0,00234
Québec	0,00566	0,0024	0,004	0,01206
Ontario	0,01307	0,00374	0,00602	0,02283
Manitoba	0,01056	0,00231	0,00573	0,0186
Sask.	0,01906	0,00448	0,00922	0,03275
Alberta	0,01839	0,00958	0,01083	0,0388
C.-B.	0,00188	0,00151	0,00147	0,00469
Canada	0,06948	0,0244	0,03824	0,13212
% contribution	53%	18%	29%	

Source: Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Nitrous Oxide Component, Report No, 20, Estimates of Nitrous Oxide Emissions from Agroecosystems in Canada for the Years 1981, 1986, 1991, and 1996, Using the Revised 1996 IPCC/OECD Methodology, C,A, Monteverde, R,L, Desjardins and E,Pattey, 1997,